

509 W

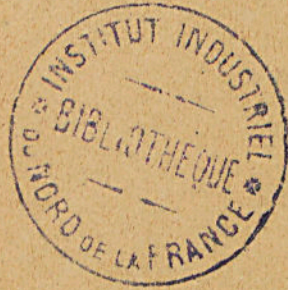
ECOLE CENTRALE DE LILLE



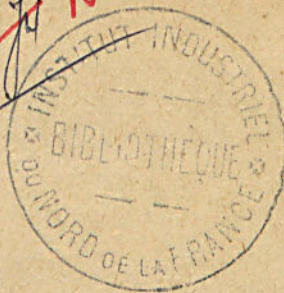
D0000005726



EC-131
~~3583~~



509



J2
=11

GRANDES ENCYCLOPÉDIES INDUSTRIELLES J.-B. BAILLIÈRE

Publiées sous le patronage de

**LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE
ET DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE**

**LA
SUCRERIE DE BETTERAVES**

M. J. B.
18-11
... (s)ien
A. J. B.

A LA MÊME LIBRAIRIE

- La Pratique des Essais commerciaux et industriels**, par G. HALPHEN, G. PARIS, et Ch. QUILLARD, 2 vol. in-18 36 fr.
- I. — *Matières minérales*. 3^e édition, par G. PARIS, ingénieur-chimiste. 1921, 1 vol. in-18 de 412 pages, avec 57 figures 18 fr.
- II. — *Matières organiques*. 3^e édition, revue et augmentée par Ch. QUILLARD, ingénieur-chimiste, arbitre au Tribunal de Commerce de la Seine, 1915, 1 vol. in-18 de 350 pages, avec 79 figures 18 fr.
- Betterave et Sucrerie de Betteraves**, par E. SAILLARD, professeur à l'Ecole nationale des industries agricoles, directeur du laboratoire du syndicat des fabricants de sucre de France. 3^e édition. 1923, 2 vol. in 18 :
- I. *Les méthodes d'analyse. Le contrôle chimique et la fabrication*. 1 vol. in-18 de 470 pages avec 47 figures. Broché 18 fr. ; cartonné 24 fr.
- II. *Production de la betterave et Technique sucrière*, 1 vol. in-18 de 582 pages avec 97 figures. Broché 18 fr. ; cartonné 24 fr.
- Manuel de Sucrerie**. Technologie sucrière, betterave, canne à sucre. Histoire fabrication, contrôle chimique, par J. ROUBERTY, 1922, 1 vol. in-18 de 296 pages avec 41 figures, cartonné (*Bibliothèque professionnelle*)... 19 fr.
- Manuel du Chimiste de Sucrerie, de Raffinerie et de Glucoserie**, par D. SIDERSKY, 1909, 1 vol. in-18 de 360 pages avec 72 figures (*Encycl. industrielle*) 18 fr.
- Les Sucres, le Café, le Thé et le Chocolat**, par A.-L. GIRARD, 1922, 1 vol. in-16 de 96 pages avec 19 figures (*Enc. technologique et commerciale*) 5 fr.
- Plantes à sucre et plantes stimulantes (café, cacao, thé, maté)** par. H. JECMELLE, 1 vol. in-16, de 127 pages avec 42 fig. 5 fr.
- Plantes sarclées. Pomme de terre et Betterave**, par H. HITIER, maître de conférences à l'Institut national agronomique. 1925, 1 vol. in-18 de 432 pages, avec 26 figures (*Encyclopédie Agricole*), 18 fr. ; cartonné... 24 fr.
- Plantes fourragères**, par C.-V. GAROLA, 5^e édition 1924, 1 vol. in-16 de 320 pages avec 98 figures (*Encyclopédie Agricole*). Broché, 18 fr. ; cart. 24 fr.
- Précis de Chimie industrielle**, par P. CARRÉ, professeur à l'Ecole des Hautes Etudes Commerciales. 3^e édition, 1921, 2 vol. in-8 de 1009 pages avec 220 figures 42 fr.
- Distillerie agricole et industrielle, Alcools, eau-de-vie de fruits et rhums**, par E. BOULLANGER, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur, de Lille. 3^e édition, 1923, 2 vol. in-18 de 900 pages avec figures (*Encyclopédie agricole*). Broché... 36 fr. Cartonné 48 fr.
- Manuel du Distillateur**, par Ch. MARILLER, ingénieur chimiste, 1924, 1 vol. in-18 de 305 pages avec 58 figures, cartonné (*Bibliothèque professionnelle*) 19 fr.

Ajouter pour frais d'envoi : France, 10 % ; Etranger, 15 %.

EC-V
358
Jg

ENCYCLOPÉDIE DE CHIMIE INDUSTRIELLE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

M. MATIGNON

Professeur au Collège de France
Membre de l'Institut

Secrétaire: M. NICOLARDOT Répétiteur à l'École Polytechnique

LA
SUCRERIE DE BETTERAVES

PAR

Ch. QUILLARD

Ingénieur E. P. C. I.

Expert de l'Etat pour les Dommages de guerre de Sucrierie
Ancien Chef du Laboratoire de la Raffinerie Say

Préface de René BOUCHON

Ancien Président de l'Association des Chimistes
de Sucrierie et de Distillerie

AVEC LE PATRONAGE DE L'UNION DES INDUSTRIES CHIMIQUES DE FRANCE
ET DE LA SOCIÉTÉ DE CHIMIE INDUSTRIELLE

PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

19, RUE HAUTEFEUILLE, 19

1932

Tous droits réservés



PRÉFACE

L'Ouvrage de M. Ch. Quillard vient à son heure.

La littérature scientifique française, dans le domaine de la fabrication du sucre paraît en effet en retard sur les ouvrages publiés à l'étranger, surtout en Allemagne, en Tchéco-Slovaquie et en Amérique.

La documentation rassemblée par l'auteur, les vues originales qu'il a d'autre part présentées dans son livre forment un ensemble qui sera lu avec intérêt et consulté avec fruit par tous les techniciens de l'Industrie Sucrière.

Il n'est guère nécessaire de présenter M. Ch. Quillard à ses Collègues, dont il est si sympathiquement connu, mais nous reconnaissons volontiers qu'il était particulièrement qualifié pour entreprendre cette œuvre. Il y a été admirablement préparé par ses fonctions de Chef de Laboratoire à la raffinerie Say, qu'il a remplies pendant de longues années, après avoir été préparateur à la Faculté de Médecine de Paris.

Nommé expert de l'Etat pour l'évaluation des Dommages de guerre pour l'Industrie Sucrière, il est actuellement Chef du Laboratoire de l'Office National des Recherches Scientifiques et Industrielles et des Inventions, en même temps qu'Inspecteur Régional de l'Enseignement Technique.

Ecrit par un technicien de premier plan, au courant des recherches les plus nouvelles dans tous les domaines de la Science Industrielle, ce livre trouvera sa place dans toutes les bibliothèques scientifiques comme une véritable encyclopédie de nos connaissances sucrières en 1931, et il recevra le meilleur accueil, je n'en doute pas, parmi tous ceux dont le métier est de diriger l'exploitation technique d'une sucrerie ou d'une raffinerie.

René BOUCHON.

LA SUCRERIE DE BETTERAVES

AVANT-PROPOS

Il nous semble superflu de faire ressortir ici le rôle considérable que joue l'industrie du sucre de betteraves dans un grand nombre de pays, et particulièrement en France, et d'insister sur l'influence de son développement économique et de ses progrès techniques sur la richesse nationale. C'est en effet en de nombreux chapitres que cette importance apparaîtra et que ce rôle bienfaisant s'affirmera. Il nous a paru utile de faire une notable place à l'étude des questions économiques, si intimement liées aux progrès techniques, pour donner de l'industrie qui nous occupe une physiologie exacte.

En ce qui concerne la manière de traiter la question il nous a paru bon de l'envisager sous une forme suffisamment générale pour que des catégories assez nombreuses de lecteurs y puissent prendre intérêt. Nous y avons soigneusement mentionné des détails techniques qui nous semblent de nature à retenir l'attention des techniciens spécialisés dans cette industrie en raison de leur importance pratique. Bien entendu nous avons voulu y faire figurer les particularités qui caractérisent l'état actuel de l'industrie du sucre de betteraves, soit qu'elles appartiennent au domaine des progrès réalisés, soit quelles constituent des suggestions, parfois même hardies, qui préoccupent les chercheurs.

Nous avons eu constamment la ferme intention de considérer l'industrie du sucre de betteraves, ainsi qu'elle l'est incontestablement, comme une industrie type dont l'étude des procédés, et même de leur histoire, constitue par conséquent un enseignement de caractère général, profitable à quiconque s'intéresse aux choses de l'industrie. Pour maintenir au présent ouvrage la forme didactique qui nous a paru nécessaire nous avons voulu donner à chaque chapitre un développement en rapport avec son importance

relative, même s'il en résultait la nécessité de rééditer des données classiques qui, pour le lecteur averti sont d'intérêt restreint. C'est qu'en effet ces données qu'on a toujours tenté d'ailleurs de rapporter à des principes généraux, semblent précisément celles qui sont le plus nécessaires aux débutants pour leur faire comprendre l'allure générale d'une industrie. Elles nous ont paru avoir obligatoirement place à côté des notions les plus modernes dans une Encyclopédie industrielle.



PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS ET HISTORIQUE

GÉNÉRALITÉS

L'industrie du sucre de betteraves mérite certainement la faveur des pouvoirs publics, en raison des incontestables bienfaits économiques dont elle est la source pour une nation.

Dès son origine, d'ailleurs, elle a été l'objet, de la part des gouvernements, d'une attention spéciale dans tous les pays.

Cette sollicitude était due à ce que le sucre paraissait une matière éminemment propre à l'établissement d'un lourd impôt de consommation. Si la population a souvent vu, du fait de cette attention d'ordre fiscal, se réduire une source de bien être, l'industrie qui nous occupe a généralement trouvé dans cette intervention une cause de développement et de progrès.

Il n'en faut pas moins souhaiter l'avènement, hélas ! bien lointain d'un régime qui exempterait de tout impôt un précieux aliment.

La culture de la betterave fait à coup sûr profiter l'ensemble de l'agriculture d'un pays où elle est pratiquée, d'avantages précieux.

Tout d'abord le sucre ne contient aucun autre élément que ceux puisés dans l'atmosphère. Quant aux parties de la plante autres que le sucre lui-même elles font généralement retour à la terre même où en a lieu la culture, d'une façon directe ou indirecte. Au total on peut dire que la betterave n'est pas épuisante pour le sol. Aucune plante ne profite mieux qu'elle des engrais qui

sont introduits dans le sol où on la cultive, et la culture intensive qui seule s'applique à cette plante industrielle, rend toujours à la terre ce que la récolte lui enlève.

Le tableau suivant montre avec évidence la supériorité de la betterave. Si on rapporte, d'après les tables classiques de Kellner, à la valeur alimentaire de l'amidon prise pour type, la valeur alimentaire des divers éléments récoltés dans les plantes cultivées, on voit que la betterave vient en tête et dépasse de beaucoup les autres.

*Unités alimentaires exprimées en quintaux métriques par hectare
avec les rendements moyens :*

Betteraves à sucre	60
Pommes de terre	28
Froment	25
Seigle	21
Orge	23
Avoine	19

Mais il importe surtout de noter que la culture de la betterave nécessite une préparation particulièrement soignée du sol, des nettoyages importants (sarclages et binages). Elle améliore donc fortement les qualités physiques de la terre ; et les rendements des autres cultures qui entrent avec elle dans un assolement régulier sont augmentés dans une proportion notable.

En dehors des facteurs ci-dessus indiqués, dont l'influence est bien tangible, il en est un autre indirect et en quelque sorte moral, qui a une influence considérable sur le progrès agricole.

La betterave est achetée en tenant compte de sa valeur réelle. Sa teneur en sucre sert en effet avec une exactitude plus ou moins grande à la détermination de son prix d'achat.

Il y a donc une sanction effective et précise à l'intelligence et aux efforts du producteur de betteraves. On peut dire que la culture de la betterave, de même qu'elle améliore le sol où elle est pratiquée, améliore le cultivateur qui s'y livre.

HISTORIQUE

Les origines du sucre et le sucre de cannes.

C'est de toute antiquité que les hommes connurent le sucre non seulement comme principe dans les plantes, tout au moins dans la canne à sucre, mais encore en nature, sous forme de grains isolés. Ce fait est avéré par l'étymologie même du mot; celui-ci vient en effet de l'arabe *sukkar* et du grec *σάκχαρον*; et ces mots viennent eux-mêmes du sanscrit *Çarkarâ* mot qui désigne des grains analogues à des grains de sable. C'est vraisemblablement dans l'Inde que fut d'abord connu le sucre; la canne à sucre fut transplantée dans l'Arabie et en Perse à une époque inconnue, mais à coup sûr fort reculée, au témoignage de Dioscoride, de Pline et de Galien pour ce qui concerne l'Arabie.

Ce que nous savons d'ailleurs de l'histoire du sucre chez les Grecs et les Romains établit avec certitude cette origine: la précieuse substance « qui est semblable au sel comme forme et comme couleur et qui a la saveur du miel » est désignée sous des noms qui ne laissent point de doute à ce sujet: « sel indien, miel d'Asie, Suc d'Arabie ». La canne à sucre est nommée par les Latins « *Indica arundo* » c'est-à-dire roseau indien. Disons de suite que le sucre était pour les Anciens d'une grande rareté. Comme aux premiers siècles de l'ère chrétienne et même encore chez de proches aïeux d'ailleurs, on l'utilisait plutôt comme médicament que comme aliment.

Il ne semble pas que les anciens aient connu le sucre à l'état de produit purifié ou raffiné. Certains auteurs attribuent à un Vénitien au XV^e siècle la découverte de l'art du raffinage du sucre, tandis que, dans des textes datant du XIV^e siècle il est question de sucre désigné sous le nom de sucre blanc ou sous le nom de « cafetin ».

Par contre les auteurs qui ont décrit les industries anciennes de la Chine s'accordent pour dire que les Chinois à des époques fort reculées savaient non-seulement extraire le sucre de la canne à l'état de grains ou de poudre mais encore l'épurer et le mettre sous la forme d'un produit blanc.

L'Europe fut alimentée en sucre par divers pays d'outre-mer d'une manière trop restreinte pour que la consommation de cette denrée pût descendre jusqu'aux classes même moyennes de la population avant les temps modernes.

Nous n'avons pas à étudier ici le développement de l'importation en Europe du sucre de canne, si intimement liée à toutes les épopées lointaines qui marquent les grandes étapes de l'humanité. C'est au sucre de betteraves, bien plus tardivement apparu, que nous limitons ces sommaires notions historiques.

Origines de la production du sucre de betteraves.

On admet que dès le début du XVII^e siècle Olivier de Serres signalait la présence d'un principe sucré dans la betterave. Il aurait été ainsi un précurseur auquel toutefois de récentes polémiques dénie le mérite d'avoir montré pour la première fois l'existence du sucre de betteraves. Il est hors de doute d'ailleurs que nulles tentatives de nature à permettre l'extraction du sucre de la betterave, ne furent faites avant celles du chimiste allemand Margraff, de 1747 à 1754, date à laquelle il établit, devant l'Académie de Berlin, la possibilité d'une extraction industrielle.

C'est en 1747 que Margraff se livra avec suite et méthode à des travaux tendant à extraire le sucre de la betterave. La betterave blanche de Silésie,

ancêtre de toutes les betteraves sélectionnées, que l'industrie sucrière exploite encore actuellement dans toutes les régions, lui donnait environ 6 % du poids des racines en sucre. Mais le sucre des colonies était cependant à un prix relativement trop bas pour que la nouvelle industrie pût se développer et que le succès vint récompenser les efforts de Margraff. Car dès cette époque se manifestait dans l'industrie du sucre cette absolue dépendance de la technique aux conditions économiques et fiscales qui n'a cessé d'être caractéristique de l'industrie sucrière.

Le petit fils d'un des réfugiés français que la révocation de l'édit de Nantes avait conduits en Allemagne, Achard, établi à Kunern en Silésie reprit les travaux de Margraff ; il était d'ailleurs encouragé par Frédéric Guillaume III. En 1799, Achard présentait à ce souverain des échantillons de sucre indigène propres à la consommation.

Ces résultats inquiétèrent fort les Anglais ; à ce point que, craignant le succès de la nouvelle industrie, ils tentèrent une démarche auprès de l'inventeur, pour qu'il leur cédât la connaissance des procédés, en échange d'une forte somme d'argent, contre l'engagement de ne point divulguer à d'autres les moyens de fabriquer du sucre de betteraves. Achard refusa noblement cette offre. Mais toutefois le prix du sucre colonial ne lui permit pas de réussir,

Le Blocus continental

Il fallut des circonstances particulières, que le blocus continental créa en Europe, pour que l'industrie du sucre de betteraves pût voir le jour. Le prix du sucre monta alors à 6 francs la livre en France. De toutes parts des recherches furent instituées pour tirer du sol l'aliment dont la privation était sensible à tous. Napoléon apporta les plus sérieux encouragements et les plus illustres chimistes furent consultés par lui. On crut trouver une solution en préparant le sucre de raisin ; et cette préparation d'un produit en somme fort inférieur au sucre de canne, donna lieu à de multiples travaux.

Le sucre de raisin (dextrose ou glucose), cristallise péniblement et a un pouvoir sucrant fort inférieur au sucre extrait de la canne ou de la betterave. Napoléon toutefois récompensa largement Proust qui réussit à produire industriellement le nouveau sucre extrait du raisin.

Cependant des savants officiels, en 1809, déclaraient, que « on ne pouvait jamais espérer de tirer en France, avec utilité pour le commerce, du sucre de la racine de betteraves ».

On paraissait avoir déjà oublié les travaux d'Achard, que cependant, en 1801, une commission composée de Fourcroy, Guyton de Morveau et Chaptal, avait jugés favorablement. D'ailleurs le grand chimiste anglais Humphry Davy niant le principe même de toute chimie, déclarait que « le sucre de betterave était trop amer pour être d'aucun usage ».

Cependant Benjamin Delessert avait repris la question, et, dans une usine installée à Passy, il put fabriquer du sucre extrait des betteraves. L'empereur, qui en fut informé le 2 janvier 1812, visita l'usine, le jour même, et prodigua les encouragements les plus efficaces à nouvelle industrie : la création de quatre fabriques impériales, l'exemption d'impôt, l'attribution de licences et l'ordre de cultiver sur le territoire, 600.000 arpents de betteraves furent en peu de jours décrétés.

Bien entendu le sucre de betteraves ne fut pas admis sans difficulté par la population : on le fit accepter en lui donnant l'appellation de : *sucre raffiné des Colonies*.

La lutte entre le sucre colonial et le sucre indigène au XIX^e siècle.

La chute de l'Empire fit cesser les encouragements donnés à la nouvelle industrie. De plus en 1814, la Restauration rétablis-

sant la liberté commerciale, les sucres étrangers s'introduisirent en France dans tous nos ports par grandes quantités ; nos colonies ne pouvaient soutenir la concurrence. Quant à la sucrerie de betteraves elle fut près de disparaître définitivement. Mais bientôt (décembre 1814) une surtaxe de 22 francs frappait les sucres étrangers. La surtaxe fut successivement élevée à 33 francs, en 1820 et jusqu'à 55 francs en 1822. Les colonies développèrent alors leur production au delà des possibilités de consommation française, malgré l'énorme et rapide augmentation de celle-ci, qui était de 8 millions de kilogs en 1812 et de 55 millions en 1820. Ce fut la lutte intense entre la sucrerie coloniale et la sucrerie indigène.

La plupart des fabriques de sucre de betteraves ne purent maintenir leur exploitation.

Certaines survécurent cependant et, vers 1830, à leur tour, elles devinrent une concurrence sérieuse à la sucrerie coloniale, où, dans la plupart des exploitations on suivait des pratiques assez primitives.

Pour rétablir l'équilibre on proposa l'établissement d'un impôt sur le sucre indigène. Les événements politiques de 1830 en firent retarder l'application, mais celle-ci eut lieu en 1837. Les 575 sucreries françaises (réparties dans 55 départements) tombent à 430 en 1839, à 384 en 1840, à 306 en 1845 (dans 43 départements). Le point particulièrement aigu de la lutte est en 1843. A cette date, le ministre de la marine et des colonies constate que l'augmentation de la production en sucre de betteraves est constante et appelle une mesure énergique pour sauver la sucrerie coloniale qui assure à la marine un trafic important ; un projet de loi fut déposé dont l'article premier était ainsi conçu :

« La fabrication des sucres indigènes de toute nature est interdite à partir du 1^{er} septembre 1844 ». Un crédit de 40 millions était demandé pour indemniser les fabricants. Cette loi ne fut heureusement pas votée !

D'illustres chimistes et d'éminents industriels et agronomes, parmi lesquels il faut citer *Derosne*, *Dubrunfaut*, *Chaptal*, *Payen*, *Dombasle*, avaient continué les efforts de Delessert pour développer l'industrie sucrière en France. C'est grâce à eux que la sucrerie indigène pût supporter la lutte avec la sucrerie coloniale.

Cette lutte continua avec une grande âpreté. L'impôt sans

cesse modifié était favorable à l'une ou à l'autre des productions sucrières coloniale ou indigène, selon les fluctuations politiques.

Ce qui caractérise surtout le commencement du XIX^e siècle c'est l'augmentation extraordinairement rapide de la consommation du sucre en France qui passa de 10 millions de kilogs en 1815 à 100 millions en 1840.

Jusqu'en 1843 la sucrerie indigène bénéficiait des droits réduits. En 1851 la situation se renversa et ce régime dura jusqu'en 1870. A cette époque, la situation était la suivante : l'impôt en France atteignait 75 francs tandis qu'en Angleterre il était nul. En France on consommait 6 kilogs de sucre par habitant et par année ; tandis qu'en Angleterre on en consommait 25.

Le développement de la sucrerie en France et en Allemagne

Nous avons vu quelle était la situation en France vers 1835.

C'est vers cette époque qu'en Allemagne la fabrication du sucre de betteraves prit un essor considérable. Là aussi, d'habiles techniciens, des chimistes éminents tels que Schalten, Schutzenbach, Robert, Walkhoff, Scheibler, Jellinek en assurèrent le progrès. Mais surtout, des dispositions législatives particulièrement heureuses intervinrent de bonne heure. C'est en effet en 1841 que fut promulguée dans ce pays une loi qui établissait l'impôt, non sur le sucre mais sur la betterave travaillée.

L'industrie sucrière allemande s'était développée dans le même sens que l'industrie française tout en lui demeurant légèrement inférieure jusque vers 1870.

En 1870 l'envahissement du territoire par les allemands ne donna lieu à aucune destruction de sucrerie ; l'ennemi assura même aux usines le personnel nécessaire pour la fabrication afin de percevoir à son profit l'impôt sur le sucre fabriqué.

L'industrie allemande accéléra fortement ses progrès surtout vers 1877. La France perdit sa prédominance vers 1879-1880, date où elle n'occupait plus que le quatrième rang, venant après l'Allemagne, l'Autriche-Hongrie et la Russie.

Dès 1877, B. Dureau, dans le *Journal des Fabricants de Sucre*, qu'il dirigeait, proposait comme remède, l'impôt sur la betterave, qu'il considérait comme cause du succès de l'industrie sucrière

allemande. Les fabricants de sucre sont divisés sur cette question que repoussent les fabricants du Nord alors que ceux de l'Aisne de la Somme et de l'Oise en sont partisans. C'est seulement au Congrès d'Amiens en 1883 que l'accord se fait et en 1884 qu'est institué le mode nouveau de perception de l'impôt.

La loi de 1884

La loi du 24 juillet de 1884 — basée sur le même principe que la loi allemande de 1841 — arrêta la décadence de l'industrie sucrière française et le relèvement fut rapide. Elle peut se résumer ainsi :

L'impôt est perçu non sur la quantité effective de sucre produit, mais sur la quantité de betteraves entrées dans l'usine en admettant pour celles-ci une teneur en sucre déterminée dite *rendement légal*. Celui-ci fut fixé au début à 6 % ; il fut porté à 7 % en 1887 à 7, 25 % en 1888 et 7.75 en 1890. Le sucre produit en excédent (différence entre le rendement réel et le rendement légal) n'était pas soumis à l'impôt lors de l'établissement de la loi. Par des dispositions législatives ultérieures, le boni de fabrication fut soumis à un droit réduit.

Les résultats de la loi de 1884 se firent très rapidement sentir.

En quelques années le rendement en sucre pour cent de betteraves travaillées, a presque doublé.

C'est qu'en effet le fabricant pratiqua de suite l'achat des betteraves suivant une méthode qui tenait compte de leur richesse en sucre. Sans arriver encore au dosage du sucre on procéda à l'achat suivant la densité du jus. Celle-ci est sensiblement proportionnelle à la teneur en sucre.

Les cultivateurs firent donc des betteraves riches. La diminution du poids récolté était largement compensée par l'augmentation du prix payé à la tonne. D'ailleurs, les usines mal outillées ou mal placées au point de vue de l'approvisionnement devaient fermer et beaucoup disparaissent à cette époque.

Ainsi, il fallut l'intervention de l'Etat, sous forme d'une diminution d'impôts, pour que les idées relatives à la sélection des betteraves, émises par de Vilmorin en 1856 fussent enfin mises en pratique en France et qu'on cessât de préférer les grosses betteraves pauvres en sucre aux petites betteraves riches.

Les autres pays faisaient des progrès non moins considérables. Bientôt la question du sucre dans le monde changeait de face et, à la pénurie de cette marchandise sur le marché, faisait place une surabondance entraînant une chute des cours.

Cette situation était particulièrement funeste à un pays comme la France, handicapé par le prix relativement élevé de la main-d'œuvre et le prix du charbon, et compromettait l'existence même de l'industrie.

La production du sucre sur le continent et le marché anglais.

La Grande-Bretagne qui ne produisait pour ainsi dire pas de sucre de betteraves et dont la capacité de consommation de sucre est particulièrement grande, profitait de la concurrence, que se faisaient entre eux les états du continent producteurs de sucre de betteraves.

Nous avons vu que c'est à partir de 1837, que les sucres de betteraves furent frappés en France d'un impôt qui jusque-là avait été réservé aux sucres de canne. Dès cette époque exista la lutte entre le sucre produit en France et le sucre des autres pays, pour la place sur le marché anglais. En 1864 une convention intervenait entre la France, la Belgique, les Pays-Bas et aussi l'Angleterre. Une commission établit des types basés sur la coloration (la richesse des sucres étant supposée inversement proportionnelle à la coloration) en vue du remboursement par les divers pays des droits sur les sucres sortants. Certains auteurs rapportent que, dans les raffineries, on s'appliquait à fabriquer pour l'exportation des sucres riches ayant une nuance basse, d'où des pertes pour le trésor public. La convention expirait en 1874. En 1875 l'Etat français établissait l'impôt à la consommation.

Mais on a vu que en 1841, l'Allemagne, étrangère à la convention ci-dessus indiquée, avait établi un impôt sur la betterave. Les excédents de rendements que l'industrie réalisait de ce fait, constituaient des primes à l'exportation ; ainsi les sucres allemands se répandaient sur le marché anglais et commençaient même à s'introduire sur notre marché national.

La situation critique de la sucrerie française rendit indispensable la loi de 1884, à l'établissement de laquelle s'attachent les noms de Méline et de Ribot. La renaissance de la sucrerie française fut rapide comme nous l'avons vu.

En 1895 l'Etat français retirait 195 millions de l'impôt sur les sucres, alors qu'en 1883 il en retirait seulement 143.

Les primes à l'exportation

Mais en 1896, l'Allemagne, que la prospérité de notre industrie inquiète, effectue une offensive brusque sous forme du relèvement de ses primes à l'exportation. Ses fabricants recevaient ainsi des sommes importantes qui leur permettaient d'abaisser leur prix de vente pour ruiner la concurrence sur le marché anglais.

L'Autriche-Hongrie suivit bientôt la même voie que son alliée.

La France par la loi du 7 avril 1897 répondit à ces mesures.

Les fabricants qui exportaient des sucres, suivant les dispositions de ce système, tout artificiel, recevaient une prime qui abaissait d'autant leur prix de revient et ainsi ils devaient être mieux en mesure de soutenir la concurrence étrangère. La situation relative des fabricants des divers pays n'en demeurait pas moins la même : la concentration de l'industrie allemande dans des usines, en moyenne, plus importantes que les usines françaises, à frais généraux plus réduits, par sac de sucre produit, la main d'œuvre plus abondante et le charbon moins cher réalisaient toujours des conditions plus favorables pour nos concurrents. Des méthodes culturales meilleures mettaient aussi la matière première à la disposition des fabricants allemands à moindre prix.

Pour faire face aux dépenses considérables que constituaient les primes, des droits supplémentaires (taxe de raffinage, droit de fabrication) étaient payés par le consommateur du continent. En somme on favorisait l'augmentation de la consommation en Angleterre au détriment du consommateur français.

La Conférence de Bruxelles

Les inconvénients de ce système étaient devenus si manifestes aux yeux de la partie la plus éclairée de l'opinion publique, qu'il devint impossible en France, malgré la sympathie qu'il inspirait aux intéressés. Une première conférence eut lieu à Bruxelles pour obtenir, par une entente internationale, la suppression des primes. Elle eut pour conséquence la création d'un cartel des producteurs allemands, fabricants et raffineurs. Une seconde conférence eut lieu en 1902, à Bruxelles.

Elle aboutit cette fois à une convention signée le 5 mars 1902 et mise en exécution le 1^{er} septembre 1903.

Toutes les primes directes et indirectes furent supprimées. Les législations intérieures des pays signataires de la Convention devaient être mises en harmonie avec les décisions de cette Conférence.

Les pays signataires de la Conférence de Bruxelles étaient : l'Allemagne, l'Autriche-Hongrie, la France, la Belgique, l'Espagne et l'Italie.

La suppression des primes indirectes comportait l'abolition des primes à la production instituées par la loi de 1884. Tout sucre produit devait payer l'impôt.

Des discussions passionnées se produisirent, en raison des grandes divergences que présentaient les intérêts en présence ; aussi bien ceux des fabricants de sucre, d'une part, que ceux des raffineurs de sucre d'autre part. Et même, parmi ces derniers il y eut des divergences d'intérêts entre les raffineries de l'intérieur et les raffineries des ports. On établit des détaxes de distance.

L'exportation des sucres français avait été de 4.830.000 tonnes en 1901-02 ; elle tomba à 211.000 tonnes en 1902-03. Mais la diminution du droit de consommation résultant pour la France de la nouvelle législation (abaissement du droit de 64 à 25 francs) avait de suite fait sentir ses effets ; la quantité de sucre consommé augmenta immédiatement.

La convention de Bruxelles fut prorogée le 28 août 1907.

La convention, dont l'initiative avait été prise par l'Angleterre fut de même dénoncée par elle à la date du 28 août 1912, son retrait prenant date à partir du 1^{er} septembre 1913. L'Angleterre voulait ainsi reprendre sa liberté pour pouvoir recevoir des sucres

primés en provenance de Russie, pays dont le gouvernement donnait à ses fabricants, de larges primes.

La France avait jugé sage, en 1907, d'accepter l'entrée de la Russie dans la convention en limitant le montant de ses importations annuelles.

La Convention fut renouvelée pour une période de cinq années finissant en 1913. Renouvelée une deuxième fois en 1912 pour une troisième période finissant en 1918.

Le rôle des délégués permanents de la France à la Conférence de Bruxelles était délicat, sans cesse pris entre le désir de maintenir ses avantages à la France, et la crainte, au cas où elle eût été forcée de se retirer, de voir l'accord entre les autres puissances maintenu contre elle. La Convention internationale avait d'ailleurs le mérite, reconnu par tous, d'établir dans les relations internationales une stabilité qui était avantageuse pour l'ensemble de l'industrie.

La guerre de 1914 rendait caduque cette convention ; elle n'existe plus actuellement.

La guerre de 1914 et l'industrie sucrière

Pendant la guerre, dès 1916, le sucre fut acheté par l'Etat aux fabricants. Les prix de la betterave et du sucre étaient fixés par une commission officielle. Les importations étaient aux mains du service de ravitaillement.

L'impôt sur le sucre est prélevé, comme sous le régime de la Convention de Bruxelles, sur le poids de sucre fabriqué.

La guerre de 1914 réduisit le nombre des fabriques actives de 206 à 69 et la production qui avait été de 877 milliers de tonnes en 1912-13 tomba en 1914-15 à 302 milliers. Le gros effort de reconstitution du matériel de sucrerie détruit en France à maintenir rétabli la situation normale.

Les déconcertants phénomènes économiques auxquels nous assistons semblent autoriser cette opinion que nous sommes en mesure de produire trop de sucre. Cependant il suffirait d'une augmentation assez modérée de la quantité de sucre consommé par chacun pour absorber et au delà la production actuelle.

La situation actuelle de la sucrerie dans le monde.

Il est important de noter le fait suivant :

Les événements politiques qui ont troublé de façon si extraordinaire la situation économique du monde ont eu pour effet une réduction de la quantité totale de sucre et surtout une diminution

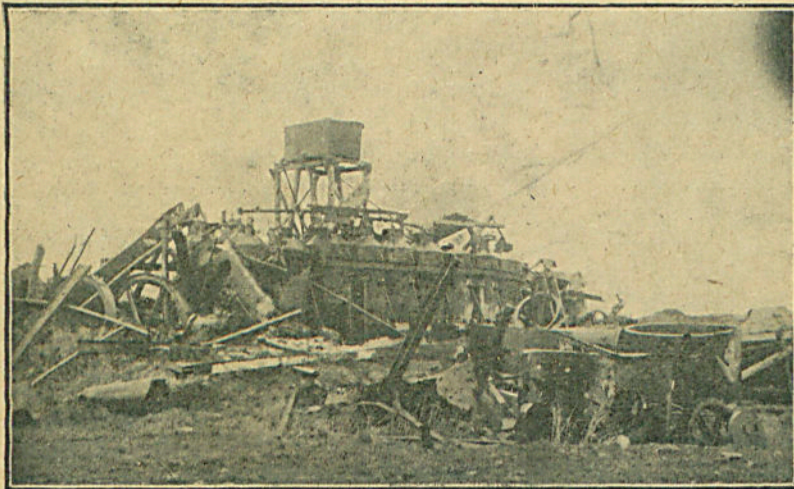


Fig. 1. — Etat d'une sucrerie après la guerre.

de la proportion du sucre de betteraves. Le tableau suivant met cette situation en évidence.

Années	Sucre de betteraves (production en tonnes)	Sucre de cannes	Total	Pourcentage	
				Betteraves	Cannes
1912-13	8.982.400	9.307.600	18.290.000	49	51
1913-14	8.908.000	10.015.000	18.923.000	47	53
1914-15	8.224.000	10.273.600	18.497.600	44	56
1915-16	6.029.200	10.794.100	16.823.300	36	64
1916-17	5.778.300	11.265.900	17.044.200	34	66
1917-18	5.083.700	12.359.600	17.443.300	29	71
1918-19	4.422.600	11.971.700	16.394.300	27	73
1919-20	3.539.500	11.963.700	15.503.200	23	77
1920-21	4.675.700	12.006.000	16.681.700	28	72
1921-22	5.017.000	12.207.000	17.224.000	29	71
1922-23	5.370.000	12.675.000	18.045.000	30	70
1924-25	7.235.000	14.632.000	21.867.000	33	67
1926-27	8.642.000	15.817.000	24.459.000	35	65

Années	Sucre de betteraves (production en tonnes)	Sucre de cannes	Total	Pourcentage	
				Betteraves	Cannse
1927-28	9.024.000	16.293.000	25.317.000	39	62
1928-29	9.327.000	17.837.000	27.165.000	37	63
1929-30	9.391.000	17.597.000	26.988.000	37	63
1930-31	11.539.441	16.589.000	28.128.000	41	59

Les années pendant lesquelles la guerre a troublé une partie de l'Europe, ont été favorables aux producteurs de sucre de canne qui, grâce aux prix élevés de vente de leur production, ont pu améliorer leur outillage et développer leurs cultures.

L'industrie sucrière française se trouvait déjà avant la guerre, dans une situation assez difficile. Elle était au total en état d'infériorité manifeste sur sa concurrente allemande. Mais, disons le de suite, non pas tant en raison de l'outillage industriel ou de la valeur de ses techniciens qu'en raison des conditions de la production agricole.

Il convient à ce propos de rapporter d'après *Sachs* le tableau suivant qui exprime les quantités de sucre brut produit par hectare et le sucre extrait de 100 kilogs de betteraves (moyenne des 10 années 1903-1913, dans les principaux pays d'Europe.

	Sucre par hectare brut (en kg.)	Sucre extrait par 100 kg. de betteraves (brut)
France	3.473	13.11
Belgique	4.149	14.44
Danemark	4.134	13.79
Allemagne	4.613	16.13
Russie	2.262	14.88
Autriche-Hongrie	3.783	15.32
Italie	3.426	11.80
Hollande	4.065	14.99

En 1913 dans 100 kilos de betteraves il y avait en Allemagne 16 kil. 84 de sucre contre 12 kilos 94 en France, ce qui revient à dire que le fabricant de sucre allemand pour avoir 100 kilos de sucre dans son usine y doit introduire 617 k. de betteraves tandis que le fabricant français doit en introduire 760 kilos soit 143 kilos de plus.

Si on prend les betteraves au même prix d'alors soit 30 francs la tonne, pour cette date de 1913, c'est, à l'avantage du sucrier allemand 4 fr. 30 par 100 kilos de sucre entré. Mais pour plus de betteraves traitées il y a plus de frais de transport, manutention et fabrication, et, surtout, avec des betteraves moins riches, donc moins

pures, les proportions relatives de sucre et de mélasse obtenues seront différentes, à même valeur technique de traitement, et là encore à l'avantage du fabricant allemand.

Quelles peuvent être les causes de la différence de plus de 3 % de richesse saccharine de la betterave dans l'un et l'autre pays ? Nous citerons, pour tenter d'y trouver une réponse, les intéressantes observations de M. Mennesson sur la comparaison des pratiques culturales en France et en Allemagne.

RÉPARTITION DÉ LA FABRICATION DU SUCRE EN FRANCE

Le tableau ci-dessous montre la répartition des fabriques dans les divers départements ainsi que le nombre des usines détruites par la guerre et le nombre de celles qui ont été reconstruites.

Nombre de fabriques actives par départements

CAMPAGNES	Aisne	Ardennes	Nord	Oise	Pas-de-Calais	Seine-et-Marne	Seine-et-Oise	Somme	Autres départements.	Total
1909-10.	57	4	51	23	27	12	10	38	22	244
1910-11.	57	4	48	22	28	12	10	37	21	239
1911-12.	52	4	42	21	21	26	12	9	34	220
1912-13.	51	4	40	20	24	12	8	33	21	213
1913-14.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	206
1914-15.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	69
1915-16.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	64
1916-17.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	65
1917-18.	»	»	»	»	»	»	»	»	»	61
1918-19.	»	»	»	8	6	11	7	3	16	51
1919-20.	»	»	1	15	6	11	7	3	17	60
1920-21.	3	»	4	17	6	12	8	4	18	72
1921-22.	3	0	5	1	6	12	8	5	18	80
1922-23.	5	0	6	10	6	12	8	6	18	90
1923-24.	6	0	8	12	6	12	8	7	18	91
1924-25.	13	1	12	15	10	12	9	9	18	107
1925-26.	13	1	12	15	10	12	9	9	18	107
1927-28.	13	1	12	15	10	12	9	9	18	107

On voit que le nombre de sucreries existant en dehors de la région plus spécialement sucrière est loin d'être négligable ; beaucoup de ces sucreries sont d'ailleurs très prospères. Cette constatation est un sérieux argument en faveur de l'extension de la culture de la betterave à sucre à des régions où elle n'est pas pratiquée.

Enfin pour terminer ces données statistiques nous donnerons ci-dessous les tonnages de sucre produits actuellement dans différents pays qui produisent le sucre de betteraves. (en tonnes)

Pays	1930-31	1929-30	1928-29	1913-14
Allemagne.....	2.500.000	1.964.168	1.864.168	1.665.450
Tchécoslovaquie.....	1.175.000	1.035.000	1.025.000	1.253.163
Autriche.....	150.000	120.375	107.322	W10.020
Hongrie.....	225.000	246.486	220.062	187.600
France.....	1.160.000	810.000	904.047	863.206
Belgique.....	275.000	252.048	279.290	273.113
Hollande.....	300.000	264.871	319.937	259.966
Russie et Ukraine.....	2.000.000	1.075.000	1.446.000	1.501.000
Pologne.....	770.000	928.757	756.839	566.515
Suède.....	180.000	121.000	160.860	145.335
Danemark.....	165.000	135.000	159.492	142.800
Italie.....	415.000	440.822	367.334	284.276
Espagne.....	310.000	225.000	250.445	259.964
Suisse.....	7.000	6.000	7.300	6.550
Bulgarie.....	55.000	41.007	29.870	42.368
Roumanie.....	150.000	82.000	131.774	139.522
Grande Bretagne et Irlande.....	453.600 100.000	132.000	127.000	77.967
Yougoslavie.....	59.600	43.000	39.387	43.959
Autres pays.....				
Total sucre de betterave de l'Europe.....	10.449.600	8.303.710	8.420.818	8.031.874
Sucre de betterave des Etats-Unis	1.050.841	901.713	928.640	965.241
Canada, betterave	39.000	27.869	28.587	27.212
Total sucre de better.	11.539.441	9.388.315	9.388.315	9.024.327
Produc. génér., canne et betterave	28.128.441	26.884.442	27.279.911	25.219.018
Différence.....	+ 1.244.661	- 395.479	+ 1.960.938	+ 1.561.351

On verra par le tableau ci-dessous le développement de la culture de la betterave à sucre aux Etats-Unis depuis la guerre de 1914.

Production en tonnes

Année	Europe	Amérique du Nord	Total	Pourcentage de la production américaine
1902	6.700.000	200.000	6.900.000	2,8
1913-14	8.000.000	800.000	8.800.000	9,0
1929-30	8.300.000	929.000	9.229.000	10,0
1930-31	10.450.000	1.089.000	11.539.000	9,5

DEUXIÈME PARTIE

LA BETTERAVE

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

Pour les botanistes, il existe 15 espèces linnéennes de betteraves sauvages (famille des *Chénopodés*, genre *Beta*) dont 7 ont un habitat maritime. Parmi celles-ci figure *Beta vulgaris* désignant une variété qui a plus de vingt synonymes notamment celui de *Beta maritima*.

C'est l'ancêtre de la betterave cultivée pour l'extraction du sucre. L'étude méthodique de la transformation de la betterave sauvage en betterave cultivée a été faite récemment par Murati.

La betterave sauvage selon M. Jacques de Vilmorin (*L'hérédité de la Betterave* Paris, 1923) serait une plante vivace, donnant des graines dès la première année sur le rivage méditerranéen et à la deuxième année seulement sur le rivage de la Manche. Elle peut vivre trois ou quatre ans. *La betterave cultivée est devenue bisannuelle* : elle ne donne pas de graines la première année. C'est là le fait capital dans l'exploitation de cette richesse naturelle. Cependant de fréquents retours à la forme ancestrale s'observent dans les variétés cultivées les plus complètement sélectionnées, suivant certaines conditions de végétation. Ce phénomène est une cause de perte importante pour la culture quand il se produit avec intensité.

La betterave sucrière de Silésie fut introduite en France en 1775 par Philippe de Vilmorin.

On trouvera dans l'ouvrage cité plus haut des descriptions détaillées des premières variétés de betteraves introduites en France, d'où dérivent toutes les variétés actuelles qu'on y produit.

Si on considère dans leur ensemble les pays où on cultive la betterave à sucre on peut dire qu'au cours du XIX^e siècle des progrès agricoles se sont manifestés par une augmentation véritablement surprenante de la teneur en sucre des betteraves. C'est un sujet d'étonnement de voir les progrès réalisés dans ce sens, grâce à des méthodes de sélection et de culture de plus en plus perfectionnées qui assurent nonseulement le pourcentage élevé de la racine en sucre mais encore le grand rendement à l'hectare, la forme avantageuse, la résistance à la maladie, la faible teneur en cendres, etc. Nous devons malheureusement faire cette observation que notre pays n'a pas marché à la tête du progrès. Ce ne sont pas les résultats absolus qu'il faut voir, mais les résultats relatifs : ils laissent à désirer chez nous.

Toutefois les résultats même les moins bons sont déjà remarquables quand on compare les betteraves cultivées actuelles, en quelque lieu que ce soit, à celles qu'on récoltait avant 1884. Aucune plante industrielle ne donne l'exemple d'une telle transformation sous l'influence de la sélection des graines.

Cependant on a trouvé récemment des betteraves sauvages récoltées en 1921 à Primel Trégastel (Finistère) qui avaient en moyenne la composition suivante, d'après une communication de M. E. Saillard à l'Académie des Sciences.

Sucre	13	à	15,56
Matière sèche	20,40	à	28,80
Cendres carbonatées	0,98	à	1,28
Azote total	0,33	à	0,49
Marc	9,00	à	9,90
Cendres carbonatées dans le marc	0,34	à	0,40

Un maximum de sucre a été trouvé à 19,60 %: On rencontre donc parfois des plantes qui ont naturellement une richesse saccharine se rapprochant de la richesse des plantes de la même espèce résultant d'une longue sélection en vue de développer cette qualité. Bien entendu cette observation ne va nullement à l'encontre de la nécessité de perfectionner la plante en vue de développer les autres qualités, rendement, forme des racines, résistance et autres qualités qui caractérisent la plante industrielle. Celle-ci

doit avoir non exceptionnellement, mais d'une façon régulière et constante, les hautes teneurs en sucre qu'on a trouvées chez certains individus primitifs.

Il y a lieu, semble-t-il, d'observer que ces betteraves sauvages exceptionnellement riches ont poussé dans une région maritime. Ce fait est à rapprocher des observations de Stoklasa que nous rapporterons plus loin. L'avenir est peut-être dans la réalisation de ces deux conditions : plantes sélectionnées par les méthodes qui ont si largement fait leurs preuves d'une part et introduction des halogènes dans les terrains où on les cultive.

Selon M. Munerati, directeur de la Station Betteravière de Rovigo (Italie) des faits incontestables nous autorisent à penser que la betterave sauvage présente des analogies étroites avec le type de betterave à sucre cultivée, tandis que les fourragères s'en détachent nettement. Chez l'ancêtre commun se sont donc produites des modifications profondes capables de donner naissance à des entités bien spécifiquement différenciées.

La betterave à sucre est la *Beta maritima* perfectionnée par la culture. Celle-ci s'est révélée capable de transformations considérables ; mais il est bon de ne pas perdre de vue son origine quand on veut continuer à l'améliorer.

Sous l'influence des conditions climatiques exceptionnelles de l'année 1921 on a récolté en Bohême des betteraves à 26 % de sucre avec un maximum de 27 % pour certaines racines. On s'est demandé (1) s'il n'existait pas une limite à l'accumulation du sucre dans la racine, limite au delà de laquelle il se produirait non du sucre mais de l'amidon dans la racine ; la pression osmotique augmente en effet avec la teneur en substances dissoutes ; et on peut concevoir que cette augmentation de pression soit hors de proportion avec ce que les tissus de la betterave peuvent supporter. Il semble que la transformation de ces tissus se produit au fur et à mesure de l'augmentation de richesse du jus, et que par conséquent on ne soit pas près de la limite de richesse saccharine des betteraves, malgré ces teneurs élevées. Ainsi donc les efforts de la sélection peuvent encore se produire utilement.

La caractéristique de la betterave est de constituer une racine pivotante et de former un *chevelu* (c'est-à-dire l'ensemble des filaments par lesquels elle puise dans le sol l'eau et les éléments minéraux nécessaires à la croissance de la plante) d'une étendue extrême.

Aimé Girard dans ses études classiques sur la formation du sucre

(1) *Blaetter für Zuckerrubensbau* 28 fév. 1922.

dans la betterave a montré que la sphère d'action du chevelu d'une betterave normale s'étendait sur 6 à 8 mètres cubes de terre.

Cette observation indique bien quelles doivent être les conditions à remplir par une bonne terre à betteraves.

La condition nécessaire à la végétation d'une betterave riche est qu'elle puisse s'enfoncer profondément dans la terre. Une betterave fourragère sort de terre presque à moitié, la betterave demi-sucrière laisse voir un collet assez long tandis que la betterave sucrière disparaît complètement dans le sol.

Cette condition ne peut évidemment être remplie que si la terre est suffisamment meuble ; dans le cas contraire la racine se nourrit mal ; mais de plus elle ne prend pas une forme régulière et devient *racineuse*, ce qui constitue une mauvaise condition pour l'arrachage. C'est là en effet une opération que les pluies d'automne en détremplant le terrain, rendent fréquemment pénible ; la mauvaise forme des betteraves non seulement rend l'opération mécaniquement plus difficile, à un degré parfois extrême, mais a encore pour fâcheuse conséquence de ramener à l'usine un poids mort de terre qui présente des inconvénients de tous ordres.

On a longtemps considéré comme hors de contestation que les terrains irrigués ne pouvaient convenir à la culture de la betterave. Cette opinion s'établit sans doute sur les résultats médiocres obtenus en Italie malgré des circonstances générales qui paraissent devoir être favorables.

Les résultats obtenus en Amérique sur des terrains irrigués démentent cette opinion.

La production des graines de betteraves est une culture spéciale qui nécessite des soins et des connaissances particulières. Nous donnerons plus loin quelques indications sur ses méthodes et son état actuel en France.

Quoique dans le présent ouvrage nous ayons le souci de nous limiter aux données qui ont une valeur pratique d'actualité ou sont susceptibles de susciter de nouveaux essais ou d'éviter d'entreprendre ceux dont on peut prévoir l'insuccès, nous ne résistons pas au désir de citer les lignes suivantes de l'ouvrage de Champion et Pellet datant de 1876 :

« L'état physique de la terre qui exerce une si grande influence sur la récolte peut être modifié à l'aide de labours plus ou moins

profonds, de fonçages, marnages, drainages, etc., Il est important de n'employer que des graines dont la végétation est assurée ; les engrais qu'elle que soit leur composition ne doivent avoir qu'une action lente et progressive ; dans le cas contraire on s'expose à brûler le végétal. Le nombre des racines doit être d'environ 80.000 à 100.000 à l'hectare ; il faut ensemercer le plus tôt possible sur des terres labourées et *fumées avant l'hiver* ; pour diminuer les manques, semer les graines mouillées ; n'arracher la betterave qu'après maturité complète ».

On ne pourrait aujourd'hui malgré les innombrables études faites depuis cette époque lointaine, mieux résumer la question. Si l'enseignement de ces auteurs avait été écouté à l'époque où ils ont fait connaître une opinion qui était déjà le résultat de longues et patientes observations, la sucrerie française eût beaucoup plus tôt obtenu les résultats qu'elle a réalisés, si tardivement, par le traitement de récoltes abondantes et riches. Mais il fallait tout d'abord qu'une loi, celle de 1884, intervint pour forcer les intéressés à entrer dans la voie du progrès.

Pour terminer ces généralités sur la culture de la betterave nous insisterons sur le point suivant : il n'y a aucune raison pour que la culture de la betterave soit limitée aux départements où elle a sa plus grande extension. Il y a d'ailleurs des sucreries prospères actuellement en dehors des départements dits sucriers. On en trouve en effet, dans la Seine-Inférieure, l'Eure, l'Eure-et-Loir, le Loiret, le Côte d'Or, la Haute-Marne, la Saône-et-Loire, l'Yonne, le Puy-de-Dôme, le Gard, la Vaucluse.

C'est vers l'extension de la culture de la betterave que notre Agriculture doit diriger ses efforts. Tout ce que nous exposerons dans les paragraphes suivants montrera l'opportunité de cette politique.

La mise au point, récemment faite, d'un procédé de fabrication du Sucre en traitant les cossettes sèches facilitera cette extension.

Caractères de la betterave

Dans les pays septentrionaux où la culture l'a adaptée aux besoins de l'industrie, la betterave est devenue *bisannuelle* ainsi que nous l'avons dit plus haut. Pendant la première année de sa

végétation elle constitue son pivot où s'accumulent les réserves. Au cours de la seconde année elle émet les tiges florifères.

Les fleurs de la betterave sont verdâtres et se trouvent réunies en *glomérules*, en nombre variable allant de deux à sept, formant des épis grêles qui, à la fin de la végétation, retombent.

Les fleurs de betteraves sont hermaphrodites.

Ce qu'il importe de savoir pour la compréhension des faits relatifs à la sélection des graines de betteraves c'est que les « durées de développement du gynécée et de l'androcée sont discordantes : l'ouverture des sacs polliniques s'effectue bien avant que le stigmate ne soit arrivé à maturité. Il en résulte que la pollinisation à l'intérieur de la même fleur est impossible et ne peut être amenée que plus tard par le pollen d'une autre fleur ; la plante est dichigame (L. Geschwind et E. Sellier (*La Betterave*)).

Ceci veut dire, et c'est là un point important, que la betterave a la plus grande tendance à l'hybridation et que par conséquent des précautions particulières doivent être prises pour que des plantes de variétés différentes ne soient pas cultivées auprès de celles qu'on veut cultiver pour sa graine. Ce qui facilite cette tendance à l'hybridation c'est que la production du pollen par les fleurs de betteraves est très grande, la période de floraison, très longue, toutes conditions qui favorisent la diffusion de l'élément fécondant.

Après la fécondation les fleurs d'un même groupement ne forment qu'un glomérule unique. Le glomérule reçoit à tort le nom de graine de betterave : ce qu'on désigne ainsi en réalité est une agglomération de fruits.

La maturité se caractérise par une teinte brune que prennent les glomérules ; elle s'accompagne d'une perte d'eau dans les fruits qui n'en retiennent plus, suivant des observations faites par Briem, que 36 à 40 %.

La chair de la betterave noircit rapidement au contact de l'air. C'est là un phénomène d'ailleurs assez général qui s'observe dans un grand nombre de fruits ou de racines, mais il est ici particulièrement intense.

Le mécanisme en est bien connu aujourd'hui grâce aux travaux de M. Gabriel Bertrand sur les oxydases, diastases dont la présence dans les plantes est fréquente. Celle de la betterave est la *tyrosinase*.

Constitution de la racine.

La coupe d'une betterave par tranches suivant des plans perpendiculaires à son axe nous montre des zones alternativement plus claires et plus foncées. Sans nous placer au point de vue de l'étude histologique de la racine, malgré tout l'intérêt qu'elle présenterait, mais restant seulement dans le domaine de ce qu'on voit à l'œil nu, nous dirons que la zone claire est le tissu *cellulaire* : il est tendre et peu riche en sucre, d'ailleurs le jus qu'il contient s'en écoule aisément.

Les zones foncées sont constituées par du tissu *fibreux*. Il est formé par des vaisseaux qui transportent le jus des feuilles aux racines ; il est plus riche en sucre que le tissu cellulaire et plus dur. La betterave riche a toujours le tissu fibreux plus développé que la betterave pauvre ; elle est plus dure et laisse moins aisément échapper le jus sucré.

La betterave à sucre présente deux sillons, (Fig. 2) légèrement incurvés en hélice, sur la périphérie de la racine et opposés. Ils semblent d'autant plus marqués que la betterave est plus riche ; de même l'abondance du chevelu qui y prend naissance est un signe de haute teneur en sucre.

La betterave de sucrerie arrivée à maturité est sensiblement constituée de la manière suivante :

Jus	96 à 95 %
Résidu insoluble ou marc	4 à 5

Sa composition au point de vue des éléments constitutifs du jus varie dans des limites assez grandes.

En ce qui concerne le marc, Skarllom (*Centr. für Zuckerindustrie* 31 p. 647) a fait observer que puisqu'il est surtout constitué par la paroi des cellules il doit pouvoir résister à la pression osmotique de leur contenu, donc s'accroître avec la teneur en saccharose. C'est ce que lui ont montré des analyses dans lesquelles les teneurs respectives des deux éléments oscillaient entre 3,80 % de marc et 14,1 % de polarisation et 4,88 % de marc et 18,5 % de polarisation. Dans une autre série d'analyses la variation allait de 4,65 % de marc avec 15 % de polarisation et 5,60 % de marc avec 18,6 % de polarisation.

Nous avons vu qu'on rencontre fréquemment des betteraves beaucoup plus riches en sucre que ne l'indiquent les chiffres moyens ci-dessus.

Bien entendu plus la betterave est riche en sucre moins élevé s'y trouve le taux des autres substances qui, au total, constituent des impuretés. Dans des betteraves riches tout au moins, la proportion de substances insolubles est à peu près constante ; le sucre étant entièrement dans le jus, si on connaît la teneur du jus en sucre en multipliant le chiffre par 0,95 on a la richesse de la betterave avec une approximation suffisante.

On a souvent considéré comme une règle présentant une assez grande valeur pratique que la richesse saccharine de la betterave est égale au double de la densité du jus. C'est à dire qu'une betterave ayant 7^o,5 de densité c'est-à-dire un jus 1,075 de densité a 15 % de sucre.

On peut dire que si toutes les conditions sont normales — bonne variété de betterave, fumure régulière, conditions climatologiques favorables, betteraves mûres, — la règle a une certaine valeur.

Le sucre n'est pas uniformément distribué dans la masse de la betterave. C'est là une donnée qui a son importance. Des expériences très nombreuses ont été faites par les sélectionneurs, montrant qu'il y a, d'un point à l'autre, des variations de 7 à 10 %. Bien entendu ces différences varient suivant les espèces. Ce qui résulte de ces constatations c'est que pour faire un échantillonnage régulier d'une betterave il faut prélever une tranche comprise entre deux plans verticaux suivant deux rayons, de façon à avoir aussi exactement que possible toute la hauteur.

La densité moyenne des betteraves est de 1,09 et elle peut aller jusqu'à plus de 1,10.

L'importante proportion d'eau des racines fait penser que leur dessiccation est aisée : il en est ainsi en effet, et un séjour à l'air très sec fait perdre une quantité sensible d'eau à la betterave ; sa dessiccation à peu près complète est même facile et a donné lieu à des applications industrielles de plus en plus étendues. Mais si la dessiccation, c'est-à-dire l'élimination de l'eau est facile, il n'en est pas de même si on veut effectuer cette opération sans provoquer d'altération du sucre ; des conditions particulières doivent être réalisées pour arriver à ce résultat et surtout pour obtenir un produit desséché d'où on puisse industriellement extraire le sucre.

Ce fut déjà un très gros progrès d'acheter les betteraves non plus seulement au poids mais encore en tenant compte de la densité

du jus. Bien entendu il est plus rationnel encore de tenir compte de leur richesse saccharine ; nous reviendrons sur ce sujet à propos de l'achat des betteraves. Quoiqu'il en soit c'est évidemment le sucre qui est le principal facteur de l'augmentation de densité du jus de



Fig. 2. — Betterave à sucre (Phot. Sébliné) réalisant la forme habituellement observée dans les variétés riches ; on voit nettement un des deux sillons caractéristiques.

betteraves puisque celui-ci représente environ de 80 à 88 % de la quantité totale de matières sèches dissoutes. On ne saurait trop insister sur ce point, à savoir que dans les circonstances actuelles il est de plus en plus intéressant pour le fabricant de sucre de travailler des betteraves riches à un double point de vue, indépendamment de la question du mode d'achat (car nous supposons que celui-ci

est fait dans des conditions telles qu'on paie bien selon la teneur en sucre) 1° C'est que le fabricant qui traite des betteraves riches met en œuvre, pour extraire un sac de sucre, une moindre quantité de matières 2° en outre il introduit en moindre quantité des impuretés, qui ne sont pas *inertes*, mais *nuisibles* au point de vue de l'extraction du sucre.

Le sucre interverti (mélange de dextrose et de lévulose) ne se rencontre qu'en très faible quantité dans les betteraves mûres normales.

Quant au raffinose, il existe en quantités toujours faibles mais qui peuvent atteindre 0,08 %. Ses variations dans la betterave semblent liées aux conditions de végétation de la plante. Il est hors de doute qu'il préexiste dans la plante ; et s'il se trouve en quantité notable dans certains résidus de la fabrication ou du raffinage du sucre c'est qu'il s'y est accumulé par concentration, mais il ne s'y est pas formé à l'usine.

F. Kryz a imaginé d'essayer la dureté des betteraves, propriété qui est en relation avec la teneur en matières ligneuses. Le dispositif de l'appareil employé consiste en un perceur en acier à section rhomboïdale de 3 mm × 5 mm d'un poids de 100 gr ; on le suspend à un mètre au dessus de la betterave à essayer et on le laisse tomber à travers un tube sur la racine. Une graduation indique la profondeur de pénétration. La durée d'emménagement a une grande influence sur la dureté.

Cette méthode dans l'esprit de son auteur peut avantageusement être employée à la sélection des porte-graines en donnant des indications qui permettent d'éliminer les produits qui ont une tendance à la lignification.

Betteraves racineuses.

Il est de la plus grande importance de récolter des betteraves de forme bien régulière et non *racineuses* c'est-à-dire dont la partie inférieure est divisée, en forme de fourche présentant deux ou plusieurs pointes au lieu de former un cône unique bien allongé. De telles betteraves présentent en effet de grosses difficultés à l'arrachage de très importantes quantités de terre viennent avec la racine et constituent un poids mort.

Ce sont les conditions du sol dans lequel les betteraves ont poussé qui déterminent cette formation irrégulière plutôt que la nature même de la betterave. Si on cultive les mêmes variétés dans divers champs on a des proportions variables de betteraves racineuses d'un champ à l'autre.

LA FORMATION DU SUCRE DANS LA BETTERAVE

Aimé Girard a fait de 1883 à 1886 de mémorables travaux sur l'élaboration du sucre dans la betterave. Il a montré d'une manière incontestable que les feuilles, en dehors de toute intervention de la racine, peuvent élaborer du sucre.

La racine selon lui n'avait d'autre rôle que celui d'emmagasiner le saccharose produit.

Les travaux nombreux qui ont vu le jour depuis ont montré que les faits avaient une complexité plus grande

Si le saccharose se forme bien dans les feuilles, ces sucres s'invertit en parcourant le chemin qui le conduit à la racine. C'est ce qu'ont fait voir les savants qui ont distingué dans la feuille le pétiole et le limbe. Dans le limbe le lévulose domine ; dans le pétiole au contraire il y a plus de glucose. Il y a longtemps d'ailleurs qu'on sait que vers le collet il n'y a que fort peu de sucre.

Les travaux d'Aimé Girard, qui sur ce point confirmaient les observations de Violette, eurent de plus comme conséquence pratique, qu'on n'effeuilla plus les betteraves pour les rendre plus riches. Nous ne mentionnerons pas ici les nombreux travaux qui se sont succédés au laboratoire ou au champ d'expérience ; nous citerons cependant de récents travaux qui ne manqueront pas de nous apporter quelque jour une pleine lumière succédant à de fort encourageantes lueurs.

M. l'abbé Colin, professeur à l'Institut catholique de Paris, poursuit depuis 1915 l'étude de la formation ou de la disparition du sucre dans la betterave. Ses travaux ont été publiés dans la *Revue générale de botanique* (1916-1917) et dans le *Bulletin de l'association des chimistes* (mars 1917).

Ses conclusions sont les suivantes :

1° La feuille renferme constamment un mélange de saccharose et de réducteurs, formé de glucose et de lévulose. Dans les tissus du limbe, le lévulose est plus abondant que le dextrose ; c'est le contraire dans le pétiole, surtout à la base, le glucose l'emporte sur le lévulose.

2° Le saccharose semble prendre naissance de prime-saut dans les cellules de la feuille, à la lumière ; il disparaît à l'obscurité après

s'être transformé en inverti sous l'action d'un ferment spécial, la *sucrase*, toujours abondant dans le limbe.

3° Le rapport du saccharose au réducteur va sans cesse en diminuant, du limbe au collet, de sorte qu'au voisinage immédiat de la racine le mélange de sucre présent dans le pétiole est composé d'une petite quantité de saccharose et d'une large proportion de réducteur où domine le glucose.

4° Dans la souche, il existe toujours du réducteur, en quantité variable avec les races de betteraves et d'autant plus grande que la racine est plus jeune.

5° Relativement à l'origine du sucre dans la racine, M. Colin démontre que les deux arguments sur lesquels A. Girard avait étayé la théorie de la migration et de l'emmagasinement du saccharose manquent de solidité, car la souche renferme toujours du réducteur, et la disparition du saccharose dans les feuilles, pendant la nuit, n'est pas liée nécessairement à l'émigration vers la souche.

6° L'argument indirect apporté par Læben en faveur de la même hypothèse et tiré de l'absence de ferment transformant les réducteurs en saccharose dans la souche ne mériterait considération que s'il était prouvé, au préalable, que toute polymérisation réalisée dans les tissus vivants suppose l'action d'un ferment.

7° Toutefois, la théorie de la polymérisation du réducteur dans la racine ne repose pas sur des preuves absolument irréfutables et se heurte, elle aussi, à de sérieuses difficultés ; la principale est la *brusque transformation* que l'on observe dans la composition du mélange des sucres, *dès les premières assises du collet*, ce qui oblige à admettre qu'un *petit nombre seulement de cellules* du collet concourent à la condensation du réducteur.

8° On est sans aucun renseignement sur la façon dont le réducteur pourrait se transformer dans la racine ; cette condensation ne saurait être rapportée à l'action d'une sucrase synthésitante, *l'invertine faisant défaut dans la racine*, du moins dans les conditions normales.

9° Il est vraisemblable que la souche proprement dite ne fait qu'emmagasiner le sucre cristallisable, la transformation du réducteur en saccharose s'opérant dans le collet, mais l'auteur ne l'affirme pas.

Avec la prudence qui caractérise le véritable savant, malgré

la somme considérable de documents qu'il a amassés M. H. Colin ne formule pas de théorie définitive et il dit :

« Faute de renseignements précis on se borne à reproduire les deux solutions opposées si souvent discutées à propos de la betterave : ou les polyoses solubles se forment sur place, tout comme l'amidon, par condensation de leurs produits élémentaires, ou le rôle des organes à réserve soluble, purement passif, se borne à emmagasiner les produits élaborés par les parties vertes ».

Enfin nous citerons cette phrase de M. H. Colin qui montre bien l'état actuel véritable de nos connaissances :

« La synthèse du sucre cristallisable en vain tentée jusqu'alors, s'effectue chez les végétaux, dans des conditions qui déroutent nos connaissances actuelles ».

Quant à la synthèse de cette substance par les chimistes elle n'est encore que du domaine de la chimie pure et la phase industrielle n'apparaît pas encore à l'horizon.

LES DIVERSES VARIÉTÉS DE BETTERAVES SUCRIÈRES

Il existe actuellement un grand nombre de variétés de betteraves, différentes par la couleur de leur chair ou la forme de leur racine, mais possédant des qualités particulières permettant à ceux qui en fournissent la graine d'avoir pour ainsi dire leur marque propre, et ayant une valeur sucrière réelle.

Les unes sont dues à des producteurs français d'autres à des producteurs étrangers. Nous verrons plus loin quelle était au point de vue de la production des graines de betterave, la situation avant la guerre et ce qu'elle est maintenant.

Disons de suite qu'il était bien établi avant la guerre, par des expériences précises que la France était en état de produire des graines de betteraves rivalisant avec les meilleures graines étrangères. Une préférence était donnée cependant souvent aux graines produites à l'étranger, pour des raisons qui n'existent plus aujourd'hui.

La betterave blanche de Silésie qui a servi de point de départ pour la production de toutes les autres variétés riches, en Allemagne aussi bien qu'en France, ne se trouve pour ainsi dire plus maintenant. Elle donnait des racines coniques bien blanches avec un collet sortant de terre légèrement. Son feuillage était peu abondant et formé de petites feuilles. Elle donnait environ 11 % de sucre.

Ce sont toujours ses descendants qui partout sont encore utilisés, sous des formes très variées mais qui se peuvent ramener à un très petit nombre de races qui sont les suivantes.

1° La Betterave blanche de Vilmorin

Il existe deux types de cette betterave qui correspondent à l'appropriation dans des terrains différents. (A et B)

Cette betterave fut d'abord le résultat d'une sélection ayant en vue l'augmentation de la richesse saccharine ; plus tard la forme d'abord imparfaite fut améliorée.

Les caractères de cette betterave peuvent être ainsi résumés :

Feuillage vert foncé abondant, limbe petit, frisé et légèrement ondulé sur les bords. Court collet conique.

Racine bien conique à pointe effilée. Peau rugueuse, chair dure. Les racines de la sélection A sont plus longues que celles de la sélection B.

Richesse saccharine élevée. Un peu tardive. Les deux variétés peuvent être ainsi distinguées :

Sélection A. — Extra riche très pivotante. Adaptée aux terres très fertiles.

Sélection B. — Riche, rustique. Plus de rendement à l'hectare de racines un peu moins riches [que celles de la variété A.

2° Betterave Fouquier d'Hérouvel

ou *betterave à sucre blanche française riche* présentant les caractères suivants :

Forme longue, et effilée; collet étroit, feuillage non frisé. Donne généralement une haute teneur saccharine mais moins régulière. Elle convient aux terres profondes. Elle a été produite à la sucrerie de Vaux sous Laon par M. Fouquier. C'est une betterave hâtive. Elle date de 1899. Elle eut une grande vogue ; c'est avec cette betterave qu'Aimé Girard fit ses expériences.

Nous ne pouvons indiquer ici toutes les variétés de graines de betteraves qu'on trouve actuellement en France.

Les variétés Simon-Légrand, Mennesson (Say) Florimond Desprez, Hélot, etc. doivent cependant être citées et témoignent de sérieux efforts. Une fâcheuse préférence habituelle pour les produits étrangers a souvent réduit l'importance des résultats que ces efforts méritaient.

La betterave blanche à sucre Klein Wanzleben est la plus célèbre race allemande caractérisée par une forme courte, un collet large avec des feuilles peu colorées frisées sur les bords. Elle date de 1886.

Les betteraves Dippe produites sur les domaines de Quedlimbourg en Saxe comprennent diverses variétés dérivant de la précédente et appropriée à des terres diverses. On doit encore citer parmi les variétés allemandes les noms de Breusted, Schreider, Elite Braume.

La Tchéco-Slovaquie fournit le Wohanka et la Hollande la variété Kuhn, dont une firme française s'est servie pour assurer une importante production de graine française.

Nous renvoyons le lecteur pour de plus amples renseignements à l'ouvrage de M. HITIER Les plantes sarclées. (*Encyclopédie agricole*. J.-B. Baillière et fils, Editeurs).

CHAPITRE II

CULTURE DE LA BETTERAVE

Nous résumerons dans ce chapitre les connaissances qui sont nécessaires au technicien de la sucrerie, renvoyant aux ouvrages spéciaux d'agriculture le lecteur désirant une documentation plus complète.

Conditions météorologiques.

On dit communément que la culture de la betterave demande de l'humidité de la chaleur et de la lumière.

En ce qui concerne l'eau, la betterave est une plante assez exigeante.

Depuis le moment où sa graine est confiée à la terre jusqu'à l'arrachage, soit une période d'environ six mois, la betterave consomme 300 kilogs d'eau par kilogramme de matières sèches.

Une récolte de 30.000 kgrs de racines et 10.000 kilos de feuilles à l'hectare contiendra environ 9.500 kilos de matières sèches, exigeant 2.850.000 kgrs d'eau.

Ce poids représente une chute de pluie de 0 m, 285 pour la période de végétation, ou si on admet, ce qui est à peu près exact en moyenne, que les pluies se répartissent également suivant les saisons dans nos climats 0, m570 pour l'année entière. C'est un chiffre qui est souvent dépassé mais pas toujours atteint. La betterave a en somme besoin de la presque totalité de l'eau résultant des pluies. Il faut donc lui donner des réserves pour le cas de sécheresse à l'aide des labours d'hiver.

L'excès de pluie à la fin de la végétation amène généralement une diminution de la richesse. Il est difficile de savoir si ce résultat défavorable a pour cause un excès d'eau ou l'abaissement de température qui caractérise habituellement les pluies abondantes.

Chaleur

En ce qui concerne les besoins de la betterave en chaleur, il faut se rappeler que la betterave est originaire des pays méridionaux. Elle ne peut s'accommoder de climats trop froids.

La température nécessaire pour que la graine puisse germer est d'au moins 5°.

Il est assez difficile de fixer avec certitude les conditions convenables pour la meilleure végétation de la plante. On admet cependant une règle empirique suivant laquelle, en additionnant le nombre des degrés mesurant la température quotidienne moyenne pendant tout le temps de séjour de la plante dans la terre, on doit obtenir un nombre voisin de 3100 degrés.

Le printemps chaud et humide réalise des conditions parfaites pour le développement de la plante. Mais c'est surtout en fin de maturité, de fin juillet à fin septembre, que l'accumulation du sucre est pour ainsi dire proportionnelle à la quantité de chaleur que le soleil fournit.

Lumière.

La lumière favorise le développement de toute végétation, c'est là un fait incontesté. Il s'est établi une opinion, en ce qui concerne la betterave, qu'un excès de lumière lui était défavorable, que la plante est essentiellement une plante à cultiver dans les pays du Nord. Des observations nombreuses relatives aux teneurs élevées de sucre constatées lors des automnes à temps couvert ont beaucoup servi à édifier cette légende d'ailleurs si conforme à la coutume d'aller chercher dans les pays du Nord la graine en vue des hautes productions.

R. Combes (*Annales des Sciences naturelles Botanique* t. XI, 1910) a montré que l'intensité lumineuse provoque l'accumulation des éléments nutritifs dans les organes de réserve notamment les racines ; au contraire les éclaircissements faibles déterminent leur utilisation, la production par conséquent des feuilles.

M. Colin a institué des expériences relatives à la betterave (*Bulletin Assoc. des Chimistes de Sucrierie et de Distillerie* Sept. 1920. Action de la lumière sur la richesse saccharine de la betterave). Des essais ont été faits sur des plantes issues de graines industrielles, certains lots recevaient une lumière atténuée par des toiles, toutes précautions étant prises pour que la chaleur et l'humidité mises à la disposition des plantes cultivées en lumière atténuée ne fussent pas moindres que la chaleur et l'humidité que recevaient des témoins.

Toujours les plantes soumises à un moindre éclaircissement donnèrent un récolte inférieure à celle des plantes témoin et l'auteur conclut ainsi :

« Si dans certaines régions brumeuses, la betterave atteint une grande richesse, il ne faut pas se hâter de conclure à l'action éminemment bienfaisante de la lumière diffuse, mais plutôt considérer l'ensemble des facteurs qui entrent en jeu, depuis la qualité des graines jusqu'à la nature des engrais. *La lumière de nos régions de l'Île de France ne contrarie nullement le phénomène d'assimilation et son influence sur la mise en réserve du sucre est au-dessus de toute contestation* ».

En pratique il est difficile de séparer les deux éléments chaleur et lumière mais les années de très grande luminosité qui s'accompagnaient de diminution de rendement de la plante qui nous occupe, étaient surtout des années sèches; et c'est à l'absence d'eau qu'on peut en toute certitude rapporter la cause de la diminution de rendement.

Etat physique du sol.

Mais la quantité d'eau tombant sur le sol n'est pas la seule considération qui intervienne. Comment cette eau peut elle être mise à la disposition de la plante dans le moment opportun, c'est-à-dire en somme dans les deux ou trois mois que dure leur végétation intense, sans que des façons aratoires puissent intervenir, alors que l'évaporation par le développement des feuilles est considérable ?

C'est ici qu'intervient la considération capitale de la nature physico-chimique du sol. M. Hitier dans son ouvrage *Les plantes sarclées*, (J.-B. Baillièrre Paris 1916), insiste sur la nécessité de ne cultiver la betterave en vue de la production de hauts rendements que sur des terres *naturellement* aptes à les obtenir ; on peut toujours par des amendements, des drainages des façons culturales appropriées rendre possible la production de betteraves dans toute terre. Mais la production *économique* est réservée, selon cet agronome distingué, là seulement où le sol y est approprié. Un tel sol doit posséder à la fois de la cohésion et un ameublissement que produisent seulement des éléments fins dans lesquels l'argile et l'humus y sont en proportions convenables.

Cependant un sol naturellement favorable n'est pas la condition suffisante pour l'obtention régulière de récoltes satisfaisantes. La culture de la betterave doit y être pratiquée avec un assolement rationnel. Il est fréquent qu'en vue de la production de betterave que les hauts prix du sucre incitent les agriculteurs à augmenter, on n'observe pas cette mesure ; il faut noter que les terres particulièrement aptes à la culture de la betterave sont aussi celles qui conviennent à la culture des légumineuses et surtout de la luzerne.

Enfin il est avantageux, cela est bien connu et fréquemment exposé dans toutes les considérations qu'on fait valoir en faveur de la protection de la culture de la betterave, que le blé soit largement représenté, dans la rotation. Les assolements judicieusement pratiqués réalisent en outre des conditions propres à éviter le développement des insectes et parasites.

Sans entrer dans le détail nous indiquerons les exemples suivants d'assolements, d'après l'auteur cité plus haut :

Sur une rotation de huit années (M. Rommetin au Plessis-Belleville (Oise) les cultures se succèdent dans l'ordre suivant :

1 *légumineuse* (trèfle, sainfoin, luzerne) 2 *blé* (1.000 kilos superphosphate 100 kilos chlorure de potassium) 3 *betteraves* (1.000 kilos superphosphate 450 kilos nitrate, fumier. 4 *blé* (100 kilos nitrate) 5 *betteraves* (1.000 kilos superphosphate 450 kilos nitrate, fumier) 6 *blé* (100 kilos nitrate) 7 *blé de mars* (300 kilos superphosphate, 75 kilos chlorure 125 kilos nitrate) 8 *avoine* (300 kilos superphosphate 50 kilos chlorure, 150 kilos nitrate).

Soit en résumé pour huit années : deux betteraves, une légumineuse, cinq céréales.

L'exploitation de MM. Bouchon à Nassandre (Eure) comporte l'assolement suivant :

Sur 12 années : 1 *Sainfoin*, 2 *Blé*, 3 *Betterave*, 4 *Blé*, 5 *Avoine*, 6 *Betterave*, 7 *Blé*, 8 *Avoine*, 9 *Betterave*, 10 *Avoine*, 11 et 12 *Sainfoin*. Soit sur 12 années 3 betteraves avec 3 sainfoin, 3 blés et 3 avoines.

Zones de culture favorables.

Des essais ont été tentés pour introduire la culture de la betterave à sucre dans la région du Sud-Ouest par M. Bouygues qui est parti de cette observation que les terres à tabac sont aussi des terres à betteraves. Il a obtenu en 1914 des rendements de 35.400 kilos à l'hectare avec de la betterave sucrière (Klein, Wanzleben et Vilmorin).

Il ne semble pas qu'il y ait de raison d'ordre climatique ou de considérations purement agronomiques qui limitent aux régions où elle est actuellement pratiquée la culture de la betterave à sucre.

Le développement de l'industrie sucrière dans ces régions est plutôt dû aux conditions économiques favorables qui s'y trouvent réalisées ; cette industrie a largement contribué à améliorer encore ces conditions.

L'extension de l'industrie sucrière et de la culture du blé à laquelle elle est liée, à de nouvelles régions, y sera un précieux élément de prospérité et loin d'être en contradiction avec des lois naturelles elle se trouve au contraire en parfaite conformité avec ces lois.

Le résultats obtenus avec le procédé De Vecchis en Italie

montrent quel avenir s'offre à la dessiccation des betteraves ; or la dessiccation des betteraves comporte des facilités particulières de transport d'où la possibilité de se livrer à la culture de la betterave en des endroits où celle-ci est possible avec des rendements avantageux mais en quantité limitée trop restreinte pour alimenter une importante sucrerie. Les progrès techniques de la dessiccation des betteraves seront donc un important facteur de l'extension de la culture de la betterave avec ses avantages au point de vue du progrès agricole.

Pour terminer ces considérations générales relatives aux climats et à la nature des sols qui conviennent à la culture de la betterave nous reproduisons ci-dessous la 1^{re} conclusion d'une étude d'ensemble présentée par M. Mennesson à la séance du 22 janvier 1919 de l'Académie d'agriculture de France sous le titre *Considérations sur la production du sucre en France par la graine de betterave à sucre française* :

«*Que nos rendements inférieurs en sucre, comparés à ceux des pays étrangers, proviennent, en dehors de l'influence incontestable du climat et du sol, en très grande partie de causes secondaires qu'on peut supprimer.*»

LA FUMURE DE LA BETTERAVE

Quoiqu'on n'extrait en définitive de la betterave à sucre que de l'hydrate de carbone dont la synthèse s'effectue avec les seuls éléments de l'air et de l'eau, la betterave n'en consomme pas moins une quantité importante d'azote, d'acide phosphorique de chaux et de magnésie.

D'après Joulie un sol bien adapté à la culture de la betterave doit contenir ces éléments suivant les quantités ci-dessous indiquées en kilogrammes :

	Par mille kilos de terre	Par hectare
Azote	1	4.000
Acide phosphorique	1	4.000
Potasse	2,5	10.000
Chaux	10 à 50	40.000 à 200.000
Magnésie	1,25	5.000

Ces chiffres qui ne sauraient avoir rien d'absolu cadrent assez bien avec les analyses des terres à betteraves les meilleures.

Il ne nous paraît pas d'un intérêt particulier d'indiquer avec précision les taux des différentes matières fertilisantes que chaque récolte enlève, étant donné la grande variété que présentent à la fois le rendement à l'hectare la proportion de racines et de feuilles et la variation de composition des unes et des autres.

Les limites suivantes peuvent être assignées pour des cultures riches par hectare.

Azote	110 à 120	kgrs
Acide phosphorique	35 à 50	«
Potasse	110 à 130	«
Chaux	30 à 50	»

Il est difficile de soumettre à un calcul exact, en dehors des variations ci-dessus indiquées quant aux teneurs propres des récoltes de betteraves en les divers éléments fertilisants, les quantités d'engrais qui doivent être introduites sous une forme ou sous une autre pour compenser les prélèvements ; le mode général de culture, suivant les assolements adoptés d'une part et, d'autre part, la restitution plus ou moins grande au sol selon le cheptel entretenu sont des éléments de variation très importants.

Si l'apport régulier d'engrais ne se produisait pas, l'épuisement de la terre se manifesterait bientôt. Il va sans dire étant donné ce que nous avons dit à propos des assolements, que la totalité de la dépense d'engrais ne doit pas être attribuée à la récolte de betterave.

Un principe d'une grande importance et définitivement établi est le suivant :

Plus les betteraves sont riches moins elles contiennent de matières minérales pour cent de sucre.

Un excès de fumure augmente le poids à l'hectare mais donne des betteraves moins pures.

Nous examinerons le rôle de chacun des éléments énumérés plus haut et nous verrons sous quelle forme ils sont habituellement introduits dans la fumure de la betterave.

Le *fumier de ferme* constitue la fumure de fond de la culture de la betterave à sucre, les *engrais chimiques* constituant la fumure de complément.

Cependant notons de suite que certains agronomes tendent de plus en plus à mettre le fumier avec la culture qui précède la betterave et non avec celle-ci.

Ce n'est pas seulement en raison de sa composition chimique que le fumier

de ferme joue un rôle capital dans la culture. Nous verrons plus loin l'importance du rôle des bactéries dont précisément le fumier est abondamment pourvu. La suppression du fumier est incompatible avec les hauts rendements ; des expériences rationnelles (ferme de Lauchstadt) l'ont définitivement établi confirmant en cela la pratique de nombre de cultivateurs.

Mais les conditions d'emploi sont des facteurs essentiels de son efficacité. Le fumier est apporteur de notables quantités de matière azotée, mais il faut que celle-ci soit sous la forme qui convient à la plante à une époque donnée. Donc enfouissement précoce du fumier, utilisation d'un fumier consommé c'est-à-dire non pailleux ; ainsi la nitrification peut se faire en temps utile, et on réalise l'enrichissement du sol en humus ainsi que son ameublissement.

Le fumier apporte à la fois la potasse, l'acide phosphorique l'azote et la magnésie ; mais ces éléments y sont en proportion et sous une forme qui ne conviennent pas à la plante à très haut rendement. On les complète donc par des engrais chimiques qui apportent les éléments que nous examinerons successivement.

Nous citerons à côté de la fumure sous forme de fumier l'emploi assez peu répandu en France des engrais verts. C'est là où le bétail est peu abondant que leur emploi se conçoit le mieux. Des conditions particulières de végétation (pluies abondantes en août et septembre assurant une levée en temps utile et un développement rapide de la plante) sont nécessaires au succès de ces *cultures dérobées* qui précisément ne se réalisent habituellement pas en France.

Telle est du moins la situation actuelle. L'avenir obligera sans doute du fait de la rarefaction de ce produit à modifier ce principe par l'emploi d'engrais nouveaux.

Il est nécessaire que l'on ait recours pour la fumure des betteraves à sucre à un fumier consommé ; c'est-à-dire celui qu'on obtient en laissant le gros bétail sur les tas de fumiers. On a ainsi et c'est là le point essentiel, une nitrification au moment où elle est nécessaire et les inconvénients qu'on reproche parfois au fumier employé en grande quantité — production de racines fourchues et retard de la maturation — ne se manifestent pas.

La quantité de fumier qu'on met habituellement par hectare est de 30 mille kilos en moyenne, cette quantité pouvant d'ailleurs être portée à 40.000 quand la terre n'a pas fait de légumineuse depuis longtemps et réduite au contraire à 20.000 lorsque une récolte de luzerne a été faite avant la dernière céréale précédant la betterave.

Engrais chimiques. — Les éléments apportés par le fumier sont loin d'être suffisants pour une récolte abondante. Les ressources nouvelles que les transformations radicales de l'industrie chimique apportent à la production des engrais doivent profiter particulièrement à la culture de la betterave. La durée de végétation de la betterave est réduite ; il faut donc user largement des nitrates, sans recourir aux doses excessives employées à une époque. Malgré certaines opinions, l'emploi du nitrate en couverture est précieux et il y faut recourir. Ne jamais oublier qu'on attribue parfois à l'excès de nitrate des mécomptes dus en réalité au défaut d'autres éléments qui doivent se trouver en quantité d'autant plus grande que l'emploi de nitrate excite la végétation.

Il ne faut pas perdre de vue que le fumier est particulièrement

riche en potasse ; aussi les bons effets obtenus par l'addition de potasse se font-ils sentir surtout dans les exploitations où l'apport de fumier est déficitaire.

Les betteraves très bien sélectionnées en vue de la production de racines à grande teneur en sucre supportent mieux que les anciennes variétés des doses élevées de potasse.

C'est là une observation de la plus haute importance ; il ne faut pas considérer isolément la question des engrais en dehors de la question de sélection. Si des considérations économiques nous conduisent, conformément aux conceptions si intéressantes de M. Georges Claude à donner la préférence à l'emploi d'un engrais contenant à la fois de la potasse, de l'azote et du chlore (pour faire l'économie d'acide sulfurique dans l'engrais) la sélection en tiendra compte et produira des races de betteraves s'accommodant bien de cet engrais.

La magnésie est un élément qui joue un rôle sur l'importance duquel l'attention des agronomes se fixe de plus en plus. Le fumier contient beaucoup de magnésie. Il faut tenir compte de ce fait quand on réduit ou supprime son emploi. MM. Vilain, de Bourbourg (Nord) ont fait de l'emploi de la magnésie une étude très attentive et surtout ils ont réalisé des engrais magnésiens (nitrate de chaux et de magnésie) qui font actuellement l'objet d'applications sur une importante échelle.

Nous ne pouvons entrer dans l'exposé des nombreux essais faits avec des éléments particuliers jouant le rôle de catalyseurs, ou d'excitants de la végétation ou de produits développant l'activité microbienne. La plupart d'entre eux ne sont pas encore du domaine de la pratique. Nous citerons seulement les expériences faites en utilisant le rôle d'excitant qui semble dévolu à l'iode.

Stoklasa a publié d'intéressants résultats sur le rôle de l'iode dans la végétation de diverses plantes et en particulier de la betterave (1)

L'iode stimule énergiquement la formation de la substance végétale. Il s'accumule surtout dans les feuilles et l'auteur pense que ce corps simple joue un rôle chez certaines plantes notamment chez les Halophytes, parmi lesquels se classe *beta maritima*.

La betterave, à la différence de certaines plantes, supporte des doses relativement élevées d'iode sous forme d'iodure de potassium. Nous renverrons au mémoire original pour le détail des expériences. Les résultats se résument ainsi :

Après des essais dans des vases, Stoklosa a fait des essais culturaux dans des champs sur des parcelles ayant reçu la fumure suivante à l'hectare :

(1) *Comptes rendus de l'Académie de Sciences*, Décembre 1923.

60 k d'azote sous forme de nitrate de soude.

50 k d'acide phosphorique sous forme de superphosphate.

80 k chlorure de potassium.

Certaines parcelles reçoivent en outre 1 k, 72 d'iode à l'hectare sous forme d'iodeure de potassium.

A la récolte on eut les rendements suivants :

	Parcelles ayant reçu l'engrais iodé		Parcelles sans iode
	A l'hectare		
Feuilles.....	405	quintaux	374
Racines.....	413	quintaux	333
Teneur saccharine.....	16,4	% —	16,6
			% —

On a donc l'énorme augmentation de 80 quintaux à l'hectare c'est-à-dire une augmentation de la production de 19 %

Stoklasa a en outre remarqué que dans la seconde année de végétation de la betterave à sucre on peut par l'emploi des engrais iodés augmenter la quantité et la qualité des graines de betteraves.

Quand on emploie de fortes quantités d'iode, de l'ordre de 4 à 5 kilogs par hectare on constate que la teneur saccharine de la betterave baisse sensiblement, et on constate dans la racine la présence d'une certaine quantité d'arabinose. En prolongent les fortes fumures iodées on arrive à des richesses saccharines tombant à 10 à 12 %.

Le problème est complexe mais le rôle de l'iode nonobstant des résultats parfois décevants est incontestable. Dans les essais négatifs c'est-à-dire ne comportant pas d'augmentation sensible de la récolte on a habituellement pu constater une fumure générale insuffisamment équilibrée. Ce qui est remarquable c'est qu'on observe *toujours* même lorsque l'augmentation de poids ne s'affirme pas une incontestable augmentation de la richesse de la betterave.

C'est vraisemblablement dans l'emploi de l'iode associé à d'autres substances, par exemple le fer, que les augmentations certaines de rendement se produiront.

LES TRAVAUX AGRICOLES

POUR LA PRODUCTION DE LA BETTERAVE

Nous limiterons à ce qu'il est véritablement impossible d'ignorer pour comprendre dans son ensemble ce qui a trait à la production du sucre de betteraves, les indications relatives à la culture proprement dite : le fabricant de sucre doit vivre pour ainsi dire dans une intimité constante avec l'agriculteur s'il ne l'est lui-même ; du moins ne doit il pas demeurer étranger à ses travaux.

Préparation du Sol

On prépare le sol devant servir à la culture de la betterave par un labour profond d'au moins trente centimètres avec la sorte de charrue dite *brabant*, et on enfouit le fumier aux doses précédemment indiquées ; c'est avant l'hiver qu'il convient de faire ce labour,

dont la gelée complète l'action. La terre est égalisée au printemps par des hersages.

A propos de cette importante question de l'époque des labours M. Mennesson observe qu'en Allemagne les terres ont toujours reçu les labours et les fumiers avant l'hiver « tandis qu'en France, nous faisons une bonne partie de nos betteraves dans des terres labourées après l'hiver, sur des fumiers souvent pailleux apportés au moment même de la préparation des terres pour l'ensemencement, fumiers irrégulièrement répandus à cause de leur volume, donnant des végétations abondantes à côté de plantes souffreteuses par suite de cette mauvaise répartition dans la terre, et ces fumiers mis tardivement *empêcheront la maturité* de la plante et *nuiront à sa richesse*.

Ensemencement

L'époque des semailles est difficile à fixer. Toute la sagacité du cultivateur connaissant bien sa région est encore impuissante à lui éviter les mécomptes résultant d'une gelée tardive s'il a semé trop tôt, de la sécheresse s'il a semé trop tard.

On emploie le semoir en lignes qui réserve un espacement de 35 à 40 centimètres entre chaque ligne. La quantité de graines employées est de 20 à 25 kilos par hectares, selon la variété de graines utilisées. On fait suivre les semailles d'un roulage, nécessaire pour répartir uniformément la terre et mettre l'eau à la disposition de toutes les graines.

La levée de la betterave, suivant les conditions plus ou moins favorables, se produit de 8 à 10 jours après que la semence a été confiée au sol.

Dans son étude, déjà citée, plus haut sur la comparaison des procédés employés en Allemagne et en France, au sujet des ensemencements M. Mennesson fait les observations suivantes :

Pour arriver à produire ces betteraves régulières, on emploie pour les ensemencements, toujours faits dans une terre bien préparée de 30 à 35 kg. de graines à l'hectare, qui donnent un cordon bien fourni, ce qui permettra un démariage régulier variant de 8 à 10 betteraves au mètre carré, sans aucun vide, tandis qu'en France où l'on n'emploie guère plus de 15 à 18 kg de graines dans des terres moins ameublées en général, nous avons trop souvent des levées irrégulières.

gulières, et partant des démariages défectueux. On peut constater qu'en Allemagne chaque betterave a végété dans un carré de terre de même surface pour chaque plante, les betteraves ont poussé dans les mêmes conditions, ce qui leur donne la même richesse. Nous constatons au contraire des vides nombreux dans nos cultures donnant de la grosse betterave dans les parties claires qui affectent la moyenne de la richesse du champ. »

La profondeur à laquelle la graine de betterave doit être semée a évidemment la plus grande importance. Toutes choses égales en ce qui concerne la nature physique de la terre, plus grande est la profondeur moindre est le nombre de graines levées en un temps donné, en raison sans doute de la résistance mécanique offerte à la jeune plante ; cette utilité de semer peu profond est exprimée par le dicton « La graine doit voir le soleil ».

Mais la résistance mécanique n'est pas le seul facteur ; d'autre part la température et le degré d'humidité interviennent. Si donc on peut par un hersage convenable assurer à la couche de terre superficielle une grande porosité il peut être favorable de semer plus profondément. Alors que c'est dans les graines semées à moins de 3 centimètres qu'on observe la plus grand nombre de graines ayant germé lorsqu'on n'a pas pris de précautions particulières pour ameublir la terre, lorsque celles-ci ont été prises c'est pour une profondeur de plus de 3 centimètres qu'on observe la plus grande proportion de graines levées. La couche superficielle très ameublie permettant de semer plus profond, permet de semer plus tard. C'est là un avantage très considérable car il permet de provoquer la levée des mauvaises herbes et de procéder à leur destruction par roulage et hersage (Voir journal des Fabricants de sucre, traduction d'un articles de *Otto Heuser* dans *Blaetter für Zucker industrie*). Il y a là une considération, basée sur des expériences, qui doit retenir l'attention.

Dés expériences anciennes ont déterminé que au delà de 17 % d'eau dans la terre, la germination est retardée.

Démariage

Les betteraves ont été à dessein semées en trop grand nombre et il importe d'en éliminer une certaine quantité, en réservant bien entendu les plus vigoureuses, de manière à laisser seulement une

betterave par chaque 20 ou 25 centimètres. C'est ce qu'on appelle l'opération du *démariage*. Elle s'effectue quand les betteraves ont atteint la dimension du petit doigt et que leur feuillage a 10 à 12 cent. de haut.

Il y a longtemps que des expériences de Briem en Allemagne ont montré que la pratique du *démariage* parfaitement faite peut augmenter la récolte de plus de 10.000 kilos par hectare.

Les agronomes français qui ont rempli des missions en Allemagne célèbrent à l'envi le soin particulier qui est apporté à cette opération.

En vue d'éviter l'opération du *démariage* on a cherché à isoler les glomérules, qui dans la graine commerciale, sont réunies, en sorte que chaque graine donne naissance à plusieurs betteraves qu'il faut séparer au prix d'un fort coûteux travail. La sélection selon certains auteurs ne peut manquer de permettre l'obtention de fleurs isolées. Des essais ont été tentés dans ce sens à la station de physiologie végétale des Etats Unis. Les essais commencés en 1903 ont amené à des graines isolées dans la proportion de 75 % et on peut espérer que l'on obtiendra 100 p. 100.

MM Moussette et Courrière ont appelé l'attention sur l'importance de la question dans un rapport présenté à la commission nommée en 1918 au Ministère de l'Agriculture pour étudier les questions relatives à l'accroissement du rendement en sucre des betteraves. Nous en extrayons les signes suivantes :

« Avec la semence actuelle, le *démariage* mécanique est impossible ; les appareils imaginés dans ce but, et que nous avons essayés, ont bien pu « placer » les betteraves, c'est-à-dire des bouquets de 5 à 10 plantes espacés de 15 à 30 centimètres les uns des autres, mais aucun n'a été et ne sera jamais capable de séparer 2 plantules nées sur le même fruit.

» Si, au contraire, nous possédions une semence monogermine (comme sont presque toutes les semences d'ailleurs), il serait possible de la répartir en vue de permettre le *démariage* mécanique, ou, tout au moins, sans l'intervention de la main de l'ouvrier ; pour s'en convaincre, il suffira d'examiner de près un semis d'une graine ayant à peu près le volume du glomérule de betteraves, comme celui du sainfoin par exemple, lorsque la levée est effectuée depuis dix à quinze jours ; on verra que, à quelques exceptions près, toutes les plantes sont isolées de leurs voisines par un espace de 3 à 5 centimètres et que cet espace peut être augmenté si nécessaire.

La semence monogermine est-elle possible ?

» A ceux qui en doutent, nous ferons remarquer que tous les organes de la betterave, sauf un, ont été profondément modifiés par la sélection : la racine minuscule et ligneuse de la betterave maritime est devenue énorme et de toutes formes dans la betterave fourragère ; moyenne, dure, cassante et sucrée dans la betterave à sucre ; la feuille petite et lancéolée de l'ancêtre est devenue large et charnue dans les plantes industrielles, panachée et colorée dans les sujets ornementaux et potagers, etc.

Aucune raison d'ordre physiologique ne s'oppose à ce que l'inflorescence soit susceptible de modifications dans le sens recherché par la sélection. »

Binages

Il faut procéder dès le début de la végétation, à l'opération du binage, cause de dépenses énormes car elle doit être renouvelée tous les quinze jours ; en dehors de son action mécanique le binage a pour effet de maintenir l'eau dans les couches profondes du sol.

Le binage doit s'effectuer même lorsque survient la sécheresse. Un dicton exprime cette nécessité : « Binage vaut arrosage ».

Concurremment avec l'outil à main on emploie pour le binage la houe à cheval de même écartement que le semoir employé.

M. E. Pluchet a rappelé en 1921 à l'Académie nationale d'agriculture l'importance de cette pratique. Il conseille en temps de sécheresse de remplacer les couteaux par les pics piocheurs dans les houes opérant les binages. On obtient alors par capillarité que l'humidité du sol remonte à la surface. L'efficacité de cette méthode est si manifeste qu'il est des agriculteurs qui n'hésitent, pas au moment des plus urgents travaux, à distraire de ceux-ci une partie de leurs attelages. Et, selon M. Hitier, dans une longue période de sécheresse c'est surtout après une pluie que la pratique du binage est utile car elle forme à la surface du sol, plus ou moins battu, une couche pulvérulente qui empêche l'eau de s'évaporer.

Les façons de la betterave se complètent dans certains cas par le buttage. Cette pratique n'est pas unanimement reconnue comme bonne. En fait son opportunité n'a lieu que pour des cultures qui ont tendance à donner des racines de mauvaise venue.

Les binages doivent cesser lorsque par suite du développement des feuilles, on risquerait de les blesser pour atteindre la terre auprès de la racine.

Effeillage.

De nombreuses controverses se sont produites au sujet de cette pratique autrefois générale, plus tard abandonnée, puis que divers auteurs ont tenté de justifier. On ne cite cependant pas d'essais montrant une augmentation de poids à l'hectare. Au contraire M. Paul Evrard (1) rapporte des essais faits sur des surfaces

(1) Paul EVRARD. — La betterave à sucre, Bruxelles, 1922.

de quatre ares chacune par M. Chassant Les betteraves de chaque lot, en nombre égal, ont subi un deux ou trois effeuillages ; un témoin n'en a subi aucun : les résultats sont les suivants :

Parcelle à 1 effeuillage	Poids à l'hectare	Poids relatifs
— 2 effeuillages	44.240 kilos	91,4 %
— 3 effeuillages	41.380 —	85,5
— témoin sans effeuillage	39.500 —	83,6
	48.380 —	100

Arrachage.

La maturité de la betterave se produit bien entendu à des époques variables suivant la nature de la betterave (les efforts des sélectionneurs tendent à créer des sortes chez lesquelles la précocité soit très développée sans qu'il y ait diminution de la richesse) la date de son ensemencement et surtout les conditions météorologiques de l'année.

La maturité de la betterave a pour critérium la disparition de toute teinte verte de la racine et la dessiccation des feuilles inférieures.

Il est évident qu'il y a le plus grand intérêt à ne procéder à l'arrachage des betteraves que lorsque la maturité est parfaitement accomplie. Mais ce qui prime tout c'est l'alimentation régulière de la sucrerie et la nécessité de ne pas prolonger son travail jusqu'à une époque où les betteraves arrachées depuis longtemps auraient subi les atteintes de la gelée ou, conservées trop longtemps en silo, verraient leur sucre diminuer par suite d'une élévation de la température. On est donc amené souvent à travailler des betteraves imparfaitement mûres de crainte d'en travailler en fin de campagne qui soient altérées. D'ailleurs l'intérêt du cultivateur va dans le même sens : il désire libérer sa terre de bonne heure.

C'est en somme fin septembre ou début d'octobre que commencent les arrachages.

L'arrachage se pratique avec un outil fourche ou une bêche selon la nature du sol ; il est essentiel de ne pas les blesser par l'outil. Et c'est là évidemment une des causes qui rendent difficile la construction d'une machine parfaite pour procéder à cet arrachage. Mais on peut aujourd'hui dire que le problème semble résolu et que l'arrachage des betteraves à la machine, avec l'importante économie de main d'œuvre qu'il comporte, peut passer dans la pratique.

Nous ne pouvons que citer les appareils de Dégremont de Cambrai, de Paul et Edmond Bellier, de Beet-Puller.

En réalité, la plupart des machines dites *arracheurs de betteraves* ne font que soulever la betterave de terre sans l'extirper du sol : ces machines sont des souleveurs de betteraves ; elles sont à un rang deux rangs ou trois rangs selon l'importance des exploitations. Ces derniers ne conviennent que pour les grandes exploitations où les semailles ont été faites avec un semoir à trois lignes ou à six lignes.

On a construit de grands modèles de ces appareils pouvant faire le travail de 9 à 10 hectares par jour ; leur fonctionnement est assuré par des locomotives-treuil. Il existe des arracheurs faisant plus complètement le travail ; ils exigent une assez grande dépense de force pour leur traction.

La bonne préparation des terres facilite le travail d'arrachage des betteraves à la main et c'est elle qui rendra possible l'arrachage mécanique.

Après le passage de l'arracheur il faut que des travailleurs hommes ou femmes interviennent et retirent les betteraves du sol, en les prenant par les feuilles puis les frappant l'une contre l'autre pour en détacher le plus possible de terre et les placent en ligne. Des ouvriers procèdent ensuite à leur décolletage.

Les betteraves doivent être séparées des feuilles et du collet c'est-à-dire de la partie supérieure de la racine où les feuilles prennent naissance, à l'aide d'un outil tranchant.

Ce travail est d'autant plus facile à faire correctement que la forme de la betterave est plus régulière et que le collet est plus nettement accusé. Dans les collets la richesse saccharine est très faible aussi le fabricant exige-t-il ce décolletage. Le cultivateur a une tendance à le réduire autant que possible.

On admet que le décolletage représente entre 3 et 5 % du poids de la racine pour des cas normaux.

Les betteraves arrachées sont mises en tas dans le champ et recouvertes de feuilles si leur enlèvement à destination de l'usine n'est pas immédiat.

Telle est du moins la bonne pratique. Selon M. Mennesson, à la différence de ce qui se pratique en Allemagne, les soins nécessaires ne sont pas toujours pris en France.

PRIX DE REVIENT DE LA BETTERAVE

Sans qu'il soit possible, vu les grandes variations que subissent tous ses éléments, de donner des prix de revient de la production des racines ayant une valeur absolue nous reproduisons cependant quelques données qui, en raison du détail qu'elles comportent, permettent dans des conditions déterminées, d'évaluer la dépense :

En 1895, d'après enquête de la Société d'agriculture de Meaux, le prix à l'hectare s'établissait ainsi à une époque où les prix présentaient une grande fixité.

Déchaumage.....	12 fr.
Labour	40 "
Ameublissement.....	50 "
Ensemencement	2 " 50
Semence	37 " 50
Roulage.....	6 "
Binage	55 "
Binage à cheval (3 façons)	21 "
Arrachage	60 "
Charrois.....	120 "
Fumier	200 "
Engrais.....	135 "
Frais généraux	178 "
Ensemble.....	917

Les dépenses adhérentes au fumier et aux engrais s'établissent ainsi :

Fumier 45.000 kilos dont on comptait 20.000 kilos à affecter au compte de la betterave.

Engrais 800 kilos superphosphate.....	56 fr.
200 kilos nitrate	46
150 kilos sulfate de potasse.....	33
Total.....	135

Quant aux frais généraux c'est comme suit qu'ils sont établis :

Ferme impôts	100
Assurances	6
Part proportionnelle des gages des ouvriers d'intérieur	28
Amortissement du matériel	20
Intérêts du capital engagé (600 fr. à 4 %.....)	24
Total.....	178

Ces prix semblent devoir être majorés de 10 % pour représenter la dépense à la veille de la guerre.

Dans les circonstances actuelles, en présence des modifications constante des conditions économiques et des questions fiscales

qui viennent s'ajouter aux variations purement locales il est difficile de donner des chiffres auxquels on pourrait en opposer d'autres.

Nous donnerons cependant ci-dessous d'après les documents comptables, relatifs à une exploitation dans la région du Nord le prix de revient de la culture d'un hectare de betterave : il sera facile de tenir compte des modifications que des circonstances locales ou générales feraient subir à tel ou tel élément.

PRIX DE REVIENT DE UN HECTARE DE BETTERAVES EN OCTOBRE 1922

Graines 25 kg à 5 fr.—	125 fr.
Façons, labours avant semailles	100
Hersages, préparation	100
Engrais (<i>y compris frais d'épandage</i>).....	1200
Loyer.....	200
Impôts.....	40
Façons de Betteraves.....	250
Binage	30
Arrachage	250
Chargement, charroi	90
Ensemble.....	2385

Il y a lieu d'ajouter les frais généraux de l'exploitation.

L'exploitation à laquelle se rapportent les chiffres ci-dessus a donné pour l'année en question 31.000 kilos à l'hectare. En 1923 on a eu 28.000 kilos.

Pour l'année 1923 ces frais doivent par contre être majorés de 10 % et cette majoration semble devoir aller encore en augmentant pour les années suivantes. Quoiqu'il en soit ces données permettent de fixer avec quelques précisions les prix de revient en leur faisant subir des modifications nécessaires pour les mettre en harmonie avec les prix du jour.

Bien entendu lorsque, pour une raison ou pour une autre, les rendements s'abaissent considérablement les bénéfices du cultivateur se réduisent dans une grande proportion comme on voit par l'exemple ci-dessous, indiqué par M. Georges Pelletier à Tremblay-les-Gonnesse qui a récolté, en 1923, 24.000 kilos de betteraves à l'hectare qu'il a ainsi vendues :

La moitié à deux cent cinq francs ; l'autre moitié à deux cent soixante et onze francs. Moyenne , deux cent trente huit francs. D'où prix de la tonne de betteraves à sept degrés neuf, moyenne des livraisons, $238 \times 65 : 100$ ou 154 fr. 70 plus 8,40 de dixièmes, ou 163 fr. 10 et, pour l'hectare, $163 \text{ fr. } 10 \times 24$ ou 3.914 fr.

Les frais de culture sont ainsi établis :

location	150 frs.
impôt	30
un déchaumage ..	70
un hersage	20
un gros labour.	280
un hersage..	20
trois façons à l'extirpateur, canadien, etc.	75
un hersage	20
un croskillage	25
un roulage	15
un léger hersage	10
semis	15
trois binages à la houe à cheval	60
binages à la main et dégarnissage	250
arrachage et chargement	400
transport des betteraves du champ à l'usine	200
graine.	100
Ensemble	1740
Fumure :	
une fumure comprenant transport et épandage (1.500)	
dont les deux tiers imputables à la betterave	1000
Engrais :	
six cent kgs. de superphosphates	120
deux cents kgs. de chlorure ou sulfate de potasse	110
cent cinquante kgs. de sang	180
trois cents kgr. de nitrate de soude	330
mélange de ces engrais et épandage	30
	1770
Total général :	3510

(Lettre publiée dans le Journal des Fabricants de Sucre).

Nous pensons ne pas donner à ce qui a trait à la production de la plante-mère de l'industrie qui nous occupe un développement hors des proportions avec ce que le technicien doit en connaître, en rapportant ci-dessous les données suivantes que M. A. Gougis a communiquées à l'Académie d'Agriculture.

En recherchant, quelles pouvaient être les machines agricoles à préconiser ou même à inventer, pour parer à la crise de la main-d'œuvre dont souffre notre agriculture, j'ai voulu déterminer quels étaient, pour le blé et pour la betterave les heures d'ouvriers nécessaires pour l'exécution des divers travaux.

En m'aidant de l'expérience d'un cultivateur beauceron, j'ai dressé les deux tableaux ci-dessous, qui sont applicables dans notre Beauce.

Blé

	Heures d'ouvriers par hectare	
<i>Préparation et semaille :</i>		
Déchaumage	12.9	
Labourage.....	16.4	
Epandage des engrais.....	3	
Hersage	3.1	
Roulage.....	2	
Semaille du grain	1	
	38.4	38.4

<i>Entretien au printemps.</i>			
Hersage	3.1		
Roulage.....	2		
	<u>5.1</u>	5.1	
<i>Moisson :</i>			
Détourage	1		
Moisson à la lieuse.....	3.33		
Mise des gerbes en moyettes	1		
Chargement	10		
Transport. Déchargement	1		
	<u>16.33</u>	16.33	
<i>Battage et livraison :</i>			
Battage	10		
Nettoyage du blé.....	1		
Tassage de la paille	10		
Livraison du blé	10		
	31	31	
Total.....		<u>90.83</u>	

Betteraves	Heures d'ouvriers par hectare	
<i>Préparation d'une terre après céréale :</i>		
Déchaumage.....	12.9	
Labourage à 15 cm. en septembre.	20	
Labour à 25 cm. en novembre-décembre.....	36	
Hersage	4.8	
Roulage.....	2	
Scarifiage.	5.5	
Hersage	3.1	
Scarifiage.	5.5	
Roulage.....	3.1	
	<u>92.9</u>	92.9
<i>Epannage et semaille</i>		
Fumier	16	
Engrais.....	3	
Graines	1	
Nitrate.. ..	3	
	<u>23</u>	23
<i>Binages</i>		
Démariage de première façon.....	60	
2 ^e façon	30	
3 ^e façon	30	
	<u>120</u>	120
<i>Arrachage et transport.</i>		
Arrachage à la main et chargement.....	70	
Charriage	50	
Déchargement et voyage.....	50	
	<u>170</u>	170
		<u>407.4</u>

L'examen de ces tableaux montre combien l'emploi d'engins mécaniques très perfectionnés pourrait réduire la main-d'œuvre

employée à la culture de la betterave dans une proportion beaucoup plus grande que pour la culture du blé. L'auteur ajoute :

« Il n'y a pas que les machines pour réduire la main-d'œuvre employée ; d'autres moyens peuvent être envisagés et en premier lieu le remembrement et l'association pour l'acquisition du matériel perfectionné par les petits cultivateurs ». Nous rapporterons enfin d'après *la Main d'œuvre agricole* sept. 1924, les lignes suivantes :

Au sujet du travail des betteraves, dit M. Marcel Renard, la question du salaire à donner est très variable suivant la façon dont se présente la récolte à planter, à biner et à arracher ; mais j'estime qu'il serait bon, pour retenir le bineur jusqu'à l'arrachage, de lui assurer une prime fixe à l'hectare pour l'arrachage des betteraves qu'il aurait binées.

D'autre part, il serait intéressant, lors de l'embauchage des arracheurs, que tous les planteurs de betteraves insistent sur l'obligation du *recouvrement des tas* après relevage préalable. C'est là une habitude qui tend à disparaître et qu'il serait utile de faire revivre dans l'intérêt des planteurs.

Pour le chargement, on fixera un prix à l'hectare avec obligation pour les chargeurs de découvrir eux-mêmes les tas. Autant de conditions qu'il conviendrait de demander aux agriculteurs de généraliser dès cette année, dans le but d'éviter tous les conflits soulevés par les ouvriers au cours des travaux.

UTILISATION DES FEUILLES DE BETTERAVES

Les feuilles de betteraves représentent toujours une valeur importante, soit qu'on les utilise comme engrais en les enfouissant dans le sol soit qu'on les emploie à la nourriture des animaux.

Selon les variétés cultivées et les conditions climatologiques le poids des feuilles est très variable.

Des essais faits à la sucrerie centrale de Wanze (Belgique) montrent cette variation pour les betteraves récoltées en 1921-22 : elle va de 64 à 108 % de racines.

On admet souvent que la proportion de feuilles pour cent de betteraves est d'autant plus faible que la betterave est plus riche ; cela n'a rien d'absolu.

On peut prendre comme moyenne de récolte de feuilles à l'hectare 30.000 kilos. En admettant qu'elles contiennent par tonne,

Azote	3,5
Acide phosphorique	1
Potasse	4,0

la récolte totale donne par hectare en moyenne environ :

Azote	105 kgs.
Acide phosphorique	30
Potasse	120

C'est là une valeur considérable ; on pouvait l'estimer en chiffres ronds à 200 francs avant la guerre.

M. Hitier a estimé la valeur des feuilles de betteraves en tant qu'engrais pour la récolte d'un hectare à

650 kilos de nitrate de soude
234 kilos de sulfate ou chlorure de potassium
200 kilos de superphosphate

Les valeurs en argent correspondantes représentent environ :

Nitrate à 128 frs	832 frs.
Sel de potasse à 98 frs	229
Superphosphate à 30 frs	60
Ensemble	<u>1661</u>

Si au lieu d'utiliser les feuilles de betteraves comme engrais directement on les emploie à la nourriture des animaux on ne perd rien de leur valeur comme engrais.

TROISIÈME PARTIE

EXTRACTION DU JUS DE LA BETTERAVE

CHAPITRE PREMIER

APPROVISIONNEMENT ET LAVAGE DES BETTERAVES

Tout ce qui se rapporte à l'approvisionnement régulier de l'usine en betteraves est d'une importance capitale. On peut dire que le succès d'une sucrerie est sous la dépendance absolue de la solution de ce problème. La diminution du prix de revient est obtenue, comme dans toute industrie, par l'augmentation de la production : on a donc une tendance naturelle à faire des usines de grande capacité. Mais les difficultés d'approvisionnement sont d'autant plus grandes que cette capacité est elle-même plus grande. Les possibilités de production de betteraves fixent pour chaque cas particulier le tonnage optima à adopter.

Les rapports sont souvent difficiles entre cultivateurs et fabricants de sucre : des malentendus anciens et persistants existent fréquemment, qui leur font apparaître contradictoires des intérêts qui en réalité sont communs. L'avenir de la sucrerie de betteraves dans notre pays dépend, aussi bien que des facteurs de progrès industriel, de la suppression de cet antagonisme, qui a pour conséquence de limiter la production de la culture.

A chaque campagne sucrière se pose un problème délicat dont la solution rationnelle est fort importante, c'est celui de fixer la date de la mise en route de l'usine. La réduction de la durée de la campagne, c'est-à-dire du nombre de jours pendant lequel on fait fonctionner l'usine, est une caractéristique des progrès réalisés en sucrerie depuis un certain nombre d'années, car il en résulte naturellement une grande économie de frais généraux ; mais de plus, en ne prolongeant pas la durée de marche on évite de travailler des betteraves qui sont arrachées depuis trop longtemps c'est-à-dire ayant chance de subir une altération entraînant, à la fois, perte de sucre et difficultés d'épuration.

Il faut, d'autre part, dès le début de la campagne, traiter des betteraves réellement mûres. Enfin il faut travailler le plus tôt possible à plein rendement. Il ne saurait donc y avoir de règle fixe pour déterminer le jour de la mise en marche de l'usine. On doit, pour un degré déterminé de maturité des betteraves, avancer autant que possible la date de la mise en route, si l'état général de la récolte et la situation des marchés assurent une quantité importante de racines, la retarder au contraire si les circonstances font que cette quantité est plus faible que la normale.

Pour déterminer le mieux possible cette date, qui va du 15 septembre au 1^{er} octobre, il faut suivre l'état d'avancement de la récolte par l'examen de nombreux échantillons de betteraves prélevés dès la fin d'août. Il est bon aussi de pratiquer la culture de variétés de betteraves ayant des époques de maturité différentes de manière à répartir sur un temps plus long, l'époque opportune de leur arrachage. Mais la précocité des betteraves présente un intérêt capital au point de vue de la fabrication puisqu'elle permettrait, en commençant la campagne plus tôt, de réduire le temps de conservation des racines pendant la mauvaise saison et surtout d'effectuer les charrois à des moments où ils sont habituellement plus faciles.

Réception des betteraves

Le cultivateur ne consent habituellement pas à transporter les betteraves loin du lieu de leur production. Aussi les fabricants ne peuvent-ils recevoir la totalité des betteraves qu'ils mettent

en œuvre dans la cour même de l'usine où elles sont travaillées. Ils doivent donc installer des bascules où se font les réceptions à des distances parfois fort grandes de l'usine, soit dans les gares de chemin de fer, soit dans des villages assez éloignés, où les cul-

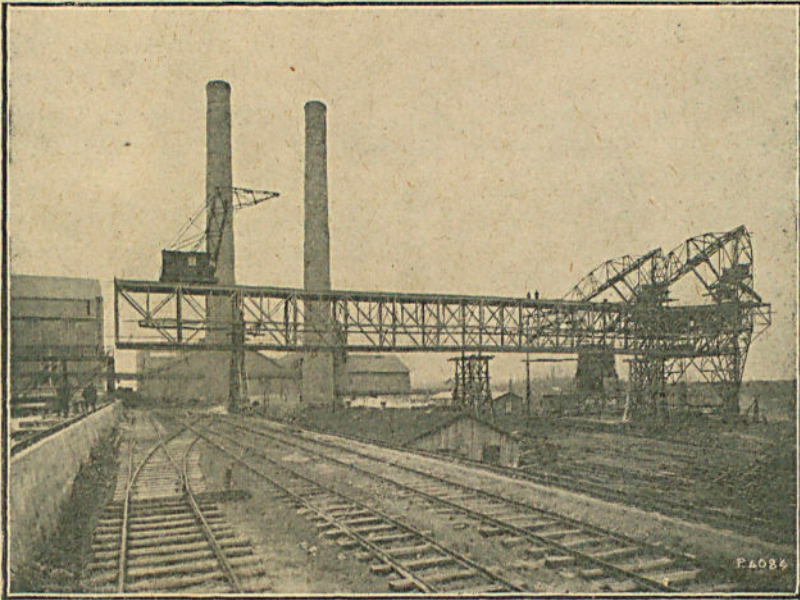


Fig. 3. — Installation pour le déchargement des betteraves amenées par le canal (à droite) ou par les voies ferrées (à gauche) et déversant les racines dans les caniveaux à la sucrerie d'Eppeville (Somme).

tivateurs les amènent. De ces centres de réception à l'usine, le transport est effectué à la charge du fabricant qui y emploie des moyens divers appropriés aux conditions locales : voitures, chemins de fer, canaux, transports aériens.

La manutention et les transports de la betterave et des autres matières (charbon, pierre à chaux, pulpes) pour les amener à l'usine ou les en évacuer, ne présente rien de sensiblement différent de ce que sont ces services dans les autres industries, si ce n'est leur importance relative puisque pour le traitement de 1000 kilogs de Betteraves nettes il faut introduire dans l'usine environ 1100 à 1250 k. de betteraves chargées de terre, parfois davantage.

70 à 80 kilogs de charbon (chiffre qui devrait d'ailleurs baisser).

20 kilogs de coke.

40 à 50 kilogs de pierre à chaux.

et évacuer :

1200 kilogs de pulpes
90 à 100 kilogs d'écumes.
125 kilogs de sucre.
40 kilogs de mélasse.

Si les approvisionnements de charbon, de coke et de pierre à chaux peuvent être faits avant la campagne, à l'époque où les transports sont plus faciles, c'est par contre au cours même de cette campagne, et sans aucune interruption qu'il faut procéder au transport de la betterave. Il va sans dire que la proximité immédiate d'un canal est une condition précieuse et que le raccordement à la voie normale s'impose.

La tonne de betteraves occupe un volume d'environ 1 mc, 8.

La manutention dans l'intérieur de l'usine ne présente pas de particularités, qui distinguent essentiellement la sucrerie, quant aux solutions techniques, si ce n'est que le matériel, servant peu de temps chaque année, ne doit pas constituer une trop grande immobilisation de capitaux ; mais la pénurie fréquente de la main d'œuvre oblige à des sacrifices de plus en plus grands dans ce sens.

Il ne faut pas perdre de vue que la betterave doit être manutentionnée avec certaines précautions et que les blessures des racines par les outils sont une cause d'altération. L'emploi d'appareils de déchargement automatique revêt de ce fait un avantage particulier qui s'ajoute à l'économie directement réalisée.

Enfin, dans les cours d'usine, la place est souvent mesurée ; l'emploi de transporteurs aériens présente donc une grande supériorité sur l'emploi des wagonnets dont les voies encombrant le sol.

Disons de suite que les arrêts intempestifs de la marche de l'usine sont désastreux ; le manque de betteraves en produit parfois ; il est absolument nécessaire de les éviter par une bonne organisation des transport et des déchargements. Notons qu'à l'époque de la fabrication les chemins sont souvent défoncés, surtout dans certaines régions. Les procédés mécaniques modernes malgré les engagements de capitaux qu'ils représentent doivent être généralisés de plus en plus.

Cependant on voit encore fréquemment des usines dans lesquelles le déchargement se fait à la main et des gares dans lesquelles on transborde de même les betteraves, d'un wagon à voie de 1 m dans un wagon à voie normale. Chaque coup de fourche, chaque coup de talon reçus par la betterave, sont des causes de perte de sucre.

Lorsqu'on amène les betteraves par bateaux, on emploie

habituellement des grues à bennes à grappins ; on utilise aussi des élévateurs inclinés. Ceux-ci sont d'ailleurs applicables aussi bien pour le déchargement des bateaux avec mise en tas sur le bord, que pour le chargement des wagons.

Le déchargement des wagons se fait parfois à l'aide de culbu-

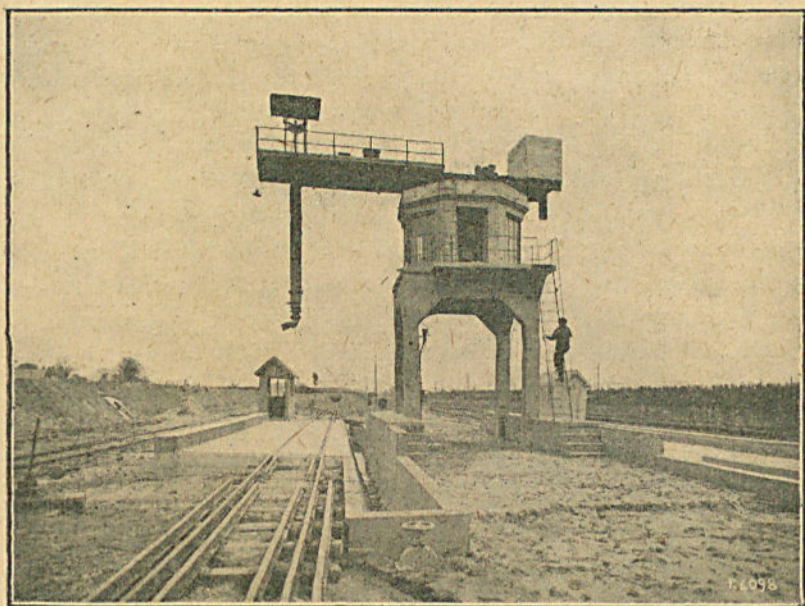


Fig. 4. — Déchargement des betteraves des wagons dans les caniveaux par l'eau sous pression à la Sucrerie d'Épeville.

teurs. Le culbuteur est formé d'un tambour à claire voie d'une longueur un peu supérieure à celle du wagon et muni de rails ; on y pousse le wagon qui y est solidement fixé, puis le tambour tourne sur des galets, et les betteraves s'échappent du wagon et tombent dans un caniveau.

Nous citerons aussi, comme mode de manutention particulier à la betterave, l'emploi fait aux États Unis et essayé en France, d'un système de filets placés sur le fond des chariots ou des wagons. Un côté de ce filet est fixé l'autre est libre ; le chariot est amené sous un appareil approprié comportant un crochet à l'extrémité

d'un câble. Le bord libre du filet est pris par le crochet et soulevé par un dispositif mécanique, généralement un treuil électrique. Les betteraves tombent ainsi dans le caniveau qui les conduit aux laveurs

Le déchargement des wagons de betteraves par courant d'eau constitue un très réel progrès. On peut en effet vider un wagon de 20 tonnes en 10 à 15 minutes alors que cette opération, quand elle est effectuée par des hommes, qui font tomber les betteraves avec des fourches, exige plus d'une heure. La suppression des blessures que les instruments employés font aux racines est un sérieux progrès. Lorsque les betteraves sont gelées dans le wagon, il y a un avantage particulièrement marqué.

Une installation des déchargeurs de wagon par courant d'eau a été faite par MM. Lemaître et Raimbert.

Ce système constitue un progrès surtout en raison de ce qu'il permet de décharger plusieurs wagons à la fois, sans qu'on soit obligé d'amener chacun d'eux successivement au même point.

Nous citerons encore comme procédé de déchargement perfectionné des betteraves le système hydraulique Folsche qui fonctionne d'une façon satisfaisante à la grande sucrerie d'Eppeville-Ham (Société nouvelle des Sucreries réunies) pour le déchargement des wagons (fig. 4).

Certains fabricants reprochent au déchargement des betteraves par courant d'eau de donner des betteraves qui ne se conservent pas aussi bien que les autres lorsqu'on doit les mettre en silos.

La question est controversée. Avant tout il faut aller vite.

Tare des betteraves.

Les betteraves à leur arrivée à l'usine sont recouvertes d'une quantité de terre plus ou moins importante selon la nature des terrains où elles ont poussé et selon le degré d'humidité au moment de l'arrachage, mais cette quantité, n'est jamais négligeable. De même, les racines ont été, au moment de l'arrachage, hâtivement décollées c'est-à-dire séparées de leurs feuilles ; il reste toujours une partie dite collet, plus ou moins verte encore, et privée de sucre. Il y a lieu d'enlever cette partie sans valeur. On appelle faire la *tare*, l'opération qui consiste à déterminer cette quantité de terre et de collets, qui doit être déduite du poids brut des betteraves,

pour obtenir le poids réel à payer. Pour cela, *au moment de la réception sur le pont bascule* après la pesée du wagon ou de la voiture, on prélève, avec une fourche, vingt cinq kilos de betteraves, qu'on place dans un panier taré. Puis on procède soigneusement au nettoyage de ces betteraves pour en enlever la terre, on enlève exactement les collets et on pèse les betteraves ainsi nettoyées dans le même panier. Un calcul simple permet de déterminer le chiffre de la tare. Il est parfois moins simple que le représentant du vendeur et le représentant de l'acheteur se mettent d'accord, pour fixer la manière dont doit être pratiqué le décolletage, lorsque des betteraves ont une mauvaise forme et présentent à leur partie supérieure une large surface. Lorsque des parties des betteraves sont altérées par la gelée, elles doivent être enlevées.

Les betteraves ayant servi à faire la tare sont mises de côté et servent à déterminer la densité du jus ou la richesse saccharine, lorsque l'un ou l'autre de ces éléments intervient dans la fixation du prix d'achat.

Il va sans dire que de fréquentes discussions ont lieu entre les parties intéressées relativement à la prise d'échantillons.

Un appareil automatique dit « Rupro » a été construit par M. Rudolf Dinglinger pour le prélèvement de l'échantillon moyen dans les wagons ou voitures. Il se compose d'une sonde de section carrée de 200 mm. dont la partie inférieure est munie de couteaux en acier, deux fixes et deux mobiles. L'appareil est monté sur un chariot qui peut se déplacer sur une charpente métallique au dessus du véhicule à échantillonner.

La charpente porte des pistons pneumatiques servant à l'enfoncement de la sonde. Quand le tube a traversé le tas de betteraves et s'est rempli, un mécanisme approprié, fonctionnant à l'air comprimé, relève les couteaux mobiles et ferme le fond. On déplace alors le tout sur la charpente, on l'amène au dessus d'un panier dans lequel le contenu se vide (fig. 5).

Toute l'opération ne demande que deux minutes.

Des appareils de ce genre, permettant d'établir d'une façon incontestable la base même de tout le contrôle d'une sucrerie en plein accord avec le fabricant et le fournisseur de betteraves, méritent de voir leur emploi généralisé.

Pesée géométrique. — On désigne sous ce nom un procédé em-

QUILLARD. — Sucrierie.

pirique d'évaluation du poids des betteraves que dans certaines régions les cultivateurs paraissent vouloir exiger de plus en plus, nous donnons ci-dessous les principes essentiels de sa pratique :

Reconnaissance. — La reconnaissance aura lieu au fur et à mesure des besoins pour donner du travail aux arracheurs et le travail de ceux-ci sera réglé de telle sorte que les betteraves ne restent pas plus de 4 à 5 jours sur la terre avant d'être expédiées ; en tous temps les tas devront être recouverts avec toutes les feuilles.

Pour chaque reconnaissance le cultivateur devra prévenir la Sucrerie ou ses Agents au moins deux jours francs à l'avance et fournir à ses frais tout le personnel, locaux et moyens de transport nécessaires.

Fourrières. — On doit être libre de passer dans les fourrières si elles sont différentes du reste de la pièce.

Prélèvements. — Les prélèvements auront lieu par longueurs linéaires fixes de 5 mètres. Ils débiteront sur une ligne prise du côté où les ensemencements auront été commencés et ils seront continués soit sur la même ligne et sur d'autres prises à intervalles réguliers, soit enfin sur des lignes allant en diagonale, mais toujours à distances invariables. Les betteraves doubles ou jumelles seront éliminées et le prélèvement se fera sur les suivantes. Les petites betteraves passant dans un anneau de 40 mm. seront éliminées chaque fois, ainsi que celles qui n'auraient pas de valeur marchande. Les betteraves dites témoins ou les fourragères de n'importe quelle grosseur seront remplacées par une betterave de poids moyen prise à côté et choisie en commun.

Quand la fiche du porteur de chaîne tombera à l'extrémité des cinq mètres du prélèvement sur une betterave, celle-ci appartiendra pour la première fois au vendeur, pour la seconde fois à l'acheteur pour ainsi continuer alternativement.

Le nombre de prélèvements sera de trois au moins par hectare et de six au plus.

L'écartement moyen des rayons sera constaté en mesurant dans la pièce une ou deux largeurs de cent lignes au moins. En divisant cette ou ces largeurs par le nombre de lignes on trouvera l'écartement moyen.

Dès que le prélèvement des échantillons sera terminé il sera procédé au nettoyage et au décolletage des betteraves conformément aux prescriptions édictées par le décret du 23 Juillet 1897.

Le poids net constaté ensuite sera celui de la superficie des prélèvements effectués ; par une simple règle de trois on trouvera le rendement à l'hectare et par une multiplication celui de la pièce reconnue.

Sur le poids trouvé après défalcation de toute la terre ou matière adhérente, des collets, chevelu et radicules ne mesurant pas plus de 15 mm de diamètre, il sera fait une déduction pour compenser les pertes moyennes d'arrachage et de charrois, décolletage défectueux, freinte d'évaporation, etc..., de huit pour cent (8%) pour les pièces d'au moins deux hectares et dix pour cent (10%) pour celles d'une contenance inférieure.

Lorsque l'état du sol l'exigera, l'acheteur pourra demander l'arrachage à la machine et ses Agents auront la faculté de faire aux arracheurs et chargeurs toutes les observations qu'ils croiront nécessaires ; le vendeur obligera ses ouvriers à suivre les dites observations.

Si la façon dont s'effectuèrent les opérations d'arrachage faisait prévoir un déficit supérieur au déchet consenti, l'acheteur aurait le droit de demander qu'il soit procédé entre le vendeur et lui à la constatation de ce qui est perdu. Cette opération aurait lieu de la manière suivante :

A différents endroits de la parcelle reconnue, choisis en nombre égal par chacune des parties, le sol sera fouillé sur une superficie de 50cm pour retrouver

les betteraves et morceaux laissés qui seront ajoutés aux collets trop coupés. Le poids trouvé servira à établir ce qui est perdu dans les opérations d'arrachage et de décolletage.

Il est admis que d'autres causes peuvent amener ensemble une perte de trois pour cent (3%) du poids de la récolte et ces 3% seront ajoutés à ce qui aurait été trouvé dans la pièce.

Si l'ensemble dépasse le déchet accordé le supplément sera déduit du poids résultant de la reconnaissance, c'est-à-dire du poids après déduction du

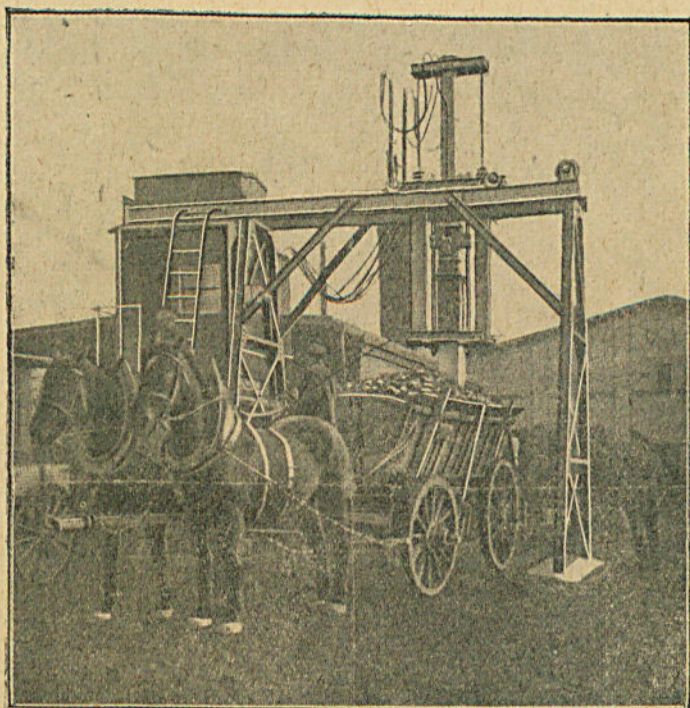


Fig. 5. — Appareil Rudolph Dinglinger pour le prélèvement des échantillons de betteraves.

déchet convenu. Le vendeur devra, en raison de cette vérification éventuelle, empêcher l'enlèvement des feuilles et morceaux de betteraves par qui que ce soit, jusqu'à ce qu'il y ait été autorisé par l'acheteur.

Si, dans les deux jours de la demande qui lui en sera faite le vendeur n'a pas cru devoir assister ou se faire représenter aux fouilles, celles-ci seront faites d'office par les Agents de la Sucrerie et le vendeur sera obligé d'en accepter les résultats.

Densité. — La détermination sera faite le jour même et ainsi qu'il est prescrit au décret du 23 Juillet 1897 et chaque degré correspondra à une teneur minimum de 2 kilogr. de sucre.

Contrats de Betteraves

Nous donnons ci-dessous des textes types des contrats réglant les conditions de la fourniture des betteraves.

Les plus usuels sont le contrat *à la densité* et le contrat *à forfait*.

Contrat à la densité. — Entre les soussignés M. N... directeur de la Sucrerie de..... et M..... Cultivateur à

Il a été convenu ce qui suit :

Monsieur le Cultivateur soussigné s'engage à ensemercer et à cultiver en 19.. une surface d'environ..... hectares de terre en betteraves à sucre et à en fournir intégralement la récolte à la sucrerie aux conditions suivantes :

La désignation exacte des champs emblavés devra être remise à la Sucrerie avant le premier Juillet 19...

Les agents de la Société auront toujours le droit d'accès et de contrôle dans les champs indiqués.

Toute la graine de betteraves nécessaire aux ensemencements sera prise exclusivement à la Sucrerie, qui la fournira à raison de vingt kilos par hectare, au prix de francs le kilo.

Les betteraves ne devront pas être effeuillées pendant la végétation.

L'arrachage, le décolletage, le chargement se feront de façon à ne pas piquer ni détériorer les racines et à éviter d'y mélanger des feuilles et des collets.

Les betteraves seront livrées mûres, saines, loyales et marchandes, dégagées autant que possible de terre et de radicules, décolletées à plat à la naissance des premières folioles. Elles ne devront pas être exposées au soleil ni à la gelée. Celles altérées ou avariées pour une cause quelconque, creuses, noires ou gelées, celles qui n'atteindraient pas 6 degrés 5 de densité pourront être refusées de plein droit. Les dépôts seront régulièrement constitués de 1 m. 60 de hauteur au moins, à bordure de route, endroits désignés par la sucrerie, ou à 1 m. de la voie ferrée. Ils seront suffisamment couverts pour éviter la pénétration de la gelée ou des pluies.

Les livraisons seront faites par les soins du cultivateur, elles devront commencer vers le 20 septembre et se poursuivre de manière à être terminées avant la fin de la fabrication. Elles pourront être momentanément suspendues en cas d'encombrement aux divers points de réception.

Le débaculage des équipages est interdit. Dans les cas exceptionnels où il serait autorisé par la Sucrerie, l'importance du fond de terre sera déterminée d'un commun accord, et par expérience directe, aussi souvent qu'il sera nécessaire.

L'enlèvement des terres provenant du déchargement des betteraves sera à la charge des fournisseurs, au prorata des tonnages bruts livrés. Ce travail devra être exécuté toutes les fois qu'il sera jugé nécessaire.

Le prix des betteraves rendues à la bascule de aux mille kilos nets à sept degrés cinq dixièmes de densité, à la température de 15° centigrades, est arrêté en se basant sur le cours du sucre.

Lorsque le prix du sucre est inférieur ou égal à francs les 100 kilos, les 1.000 kilos de betteraves seront payés 65 pour cent du prix du sucre.

Si le prix du sucre est supérieur à francs, le prix des 1.000 kilos de betteraves établi pour le sucre à francs sera majoré de 0 fr, 80 par francs de hausse au-dessus de 150 francs sans limite, fraction de franc négligée.

Le cours du sucre servant de base au règlement sera la moyenne des cotes mensuelles du sucre blanc n° 3 indigène Paris, établies par les courtiers assermentés près la Bourse du Commerce à Paris, du livrable (trois de novembre)

pendant les mois de juillet à octobre inclus, et du disponible (cote officielle) pendant les mois de novembre, décembre et janvier.

Le prix sera augmenté de 1/75^e par dixième de degré au-dessus de 7°5 ; il sera diminué de 1/60^e par dixième de 7°5 à 7° ; au-dessous de 7°, la diminution sera déterminée de gré à gré.

Le cultivateur aura la faculté d'arrêter son prix depuis le 1^{er} juillet jusqu'au pour une quantité de betteraves de 15.000 kilos, maximum par hectare engagé, au cours du livrable des 3 de novembre, qui lui conviendrait le mieux, en prévenant la sucrerie par lettre recommandée.

L'arrêt de prix se fera sur la troisième cote qui suivra la date de recommandation de la lettre si la vente correspondante du sucre peut être réalisée.

Pour les quantités ainsi arrêtées le prix des dixièmes restera évalué comme ci-dessus.

Le poids, la tare, la densité seront établis à chaque livraison conformément à l'usage.

Le cultivateur soussigné s'engage à prendre, au fur et à mesure de la fabrication, une quantité de pulpes correspondant à pour cent du poids des betteraves fournies. Le prix sera de X francs les mille kilos, pour pulpes livrées sur wagons à

En aucun cas ces pulpes ne pourront être rétrocédées et la sucrerie disposera de celles qui ne seront pas enlevées en temps opportun.

Les paiements seront effectués comme suit :

Le 10 novembre il sera accordé pour les betteraves livrées jusqu'à fin Octobre, un acompte de trente francs par tonne, déduction faite des avances d'engrais, graines et autres, et des intérêts à 6% des avances espèces.

Le 15 janvier, il sera donné un acompte égal aux deux tiers de la valeur des betteraves livrées au 31 Décembre sous déduction des fournitures et paiement antérieurs.

Le solde sera payé fin Février.

Dans les *contrats à forfait* les lignes en italique du texte relatif aux contrats à la densité sont supprimées et les lignes ci-dessous les remplacent :

Si le sucre est à 150 fr., les mille kilos de betteraves seront payés 102 fr.

Lorsque le prix du sucre sera inférieur à 150 fr., le prix de 102 fr. sera diminué de 0 fr, 65 par franc de baisse.

Lorsque le prix du sucre sera supérieur à 150 fr., le prix de 102 fr. sera majoré de 0 fr, 80 par franc de hausse au-dessus de 150 fr. sans limite, fraction de franc négligée.

Il existe diverses variantes à ces contrats.

Dans les grandes sucreries américaines les contrats de betteraves sont faits sur la base de la teneur en sucre des racines et non de la densité du jus. On est ainsi amené à faire de nombreuses analyses au moment de la réception et des installations importantes sont nécessaires pour assurer ce service. Afin d'éviter les contestations, les polarimètres sont construits de manière telle que les représentants des vendeurs puissent s'assurer par eux-mêmes du chiffre de polarisation

A chaque poste de réception une machine à calculer spéciale effectue les calculs nécessaires. On marque sur la machine : 1° le prix de base à l'unité : 2° le poids net du chargement qu'il faut régler ; 3° le résultat de l'analyse. En agissant alors sur la manivelle de la machine il s'inscrit automatiquement

1° le poids de sucre entré dans l'usine ; 2° la somme à payer au fournisseur. La machine effectue aussi la totalisation du sucre entré. Que nous voilà loin de la détermination de la valeur des betteraves par la pesée géométrique encore imposée par des cultivateurs français !

Conservation des betteraves.

Dès le moment où la fabricant de sucre a reçu les betteraves, tous ses soins doivent tendre à éviter la destruction du sucre qu'elles contiennent. Or, des pertes de sucre sont fatales, pendant la conservation de la racine, entre le moment où on la reçoit et celui où elle est travaillée ; mais ces pertes peuvent se réduire ou s'exagérer selon que les conditions favorables sont plus ou moins bien réalisées.

Les principes théoriques suivants déterminent ces conditions :

Après l'arrachage, les betteraves vivent et respirent. Cette condition est même indispensable à leur conservation. Mais cette respiration, bien caractérisée par une consommation d'oxygène et un dégagement d'acide carbonique, entraîne précisément une destruction de sucre. Pour que ce phénomène indispensable se produise, il faut que la betterave ait toujours de l'air à sa disposition. Il faut donc, sous peine de voir se produire une altération profonde, déterminer une aération bien effective.

L'échange gazeux est accéléré par l'élévation de température. La respiration cesse quand les betteraves gèlent. L'humidité accélère la destruction du sucre. La terre adhérente aux racines, en interceptant plus ou moins complètement les pores, est une cause d'altération. Les blessures des betteraves par coups de fourche ou autres outils sont une cause importante d'altération.

En cas de gelée, la circulation de l'air doit être supprimée.

Il faut, d'ailleurs, soigneusement éviter de conserver les betteraves gelées : il est nécessaire de les travailler de suite.

Les betteraves sont conservées en *tas*, ou en *silos*. Les tas doivent être couverts, et la construction de hangars est une dépense qui se justifie économiquement. Sinon on recouvre les tas ou silos, de feuilles, ou de vieilles toiles ou bâches.

Pour les raisons que nous avons exposées plus haut, les tas ne doivent pas être de trop grandes dimensions : 6 à 8 m de largeur à la base et deux à trois mètres de hauteur sont des dimensions convenables. Transversalement sont ménagées, tous les deux

mètres, des rigoles, destinées à assurer la circulation de l'air à l'aide d'une cheminée partant du milieu de la rigole et traversant le tas dans toute sa hauteur. Les ouvertures que forment ces rigoles au bord du tas, de chaque côté, sont bouchées dès que la température s'abaisse au-dessous de zéro.

Les *silos* sont constitués par des fosses comportant également des rigoles et des cheminées d'aération ; les mêmes règles s'appliquent en ce qui concerne la circulation de l'air et l'assainissement du terrain quand celui-ci est humide .

Emmagasinage des betteraves.

Les emplacements à réserver dans l'usine pour l'emmagasinage de la betterave correspondent à cinq à six jours de travail.

Si un emmagasinage important présente une sécurité au point de vue de la continuité du travail, il présente par contre des inconvénients sérieux : les betteraves entassées, surtout si elles sont à proximité d'eau chaude, comme il arrive parfois, et si les tas sont hauts, s'altèrent promptement, c'est-à-dire qu'il en résulte à la fois une perte de sucre et une difficulté dans le travail.

Les conditions d'emmagasinage et de conservation des betteraves sont, bien entendu, fort variables suivant les conditions climatologiques.

Dans certaines régions de l'Europe les fortes gelées sont une cause importante de pertes et de difficultés dans le travail. Aux Etats-Unis, par contre, on a parfois au moment de la campagne une température très élevée qui rend la conservation des betteraves impossible et il est indispensable de les travailler au fur et à mesure de leur arrachage.

Pertes pendant la conservation des betteraves.

La perte de sucre est toujours notable ; dans les conditions les plus favorables elle est, pour un climat tempéré d'environ 0,01 pour cent par jour. Mais, même pour des betteraves parfaitement saines on peut admettre une perte moyenne journalière de 0,03 % pour des tas ou silos régulièrement construits.

Il y a toujours perte de poids des racines, hors le cas où les

betteraves, pour une raison quelconque, prennent de l'humidité ; mais dans ce cas il y a exagération de la perte de sucre. Une grande incertitude existe forcément à ce sujet. Ce n'est pas un des moindres avantages du procédé de dessiccation des betteraves préalablement à l'extraction du sucre de réduire cette perte. Les bette-

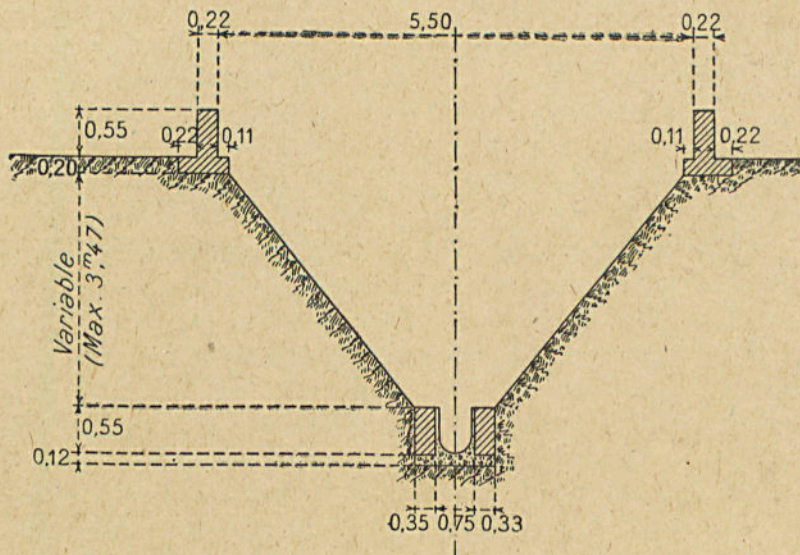


Fig. 5 bis. — Coupe d'un caniveau en tranchée pour le transport hydraulique des betteraves.

raves bien desséchées ne subissent plus aucune perte de sucre, quel que soit le temps de leur conservation.

M. Mancinelli (1) a montré que c'est par centaines de mille francs que se chiffrent, pour une sucrerie ordinaire, en année normale, les pertes de sucre subies par le fabricant, sans nul profit pour personne. Car ce sucre payé au cultivateur existait bien lors de la livraison par lui et cependant il n'entre pas dans l'usine.

Transport et lavage des betteraves.

On adopte à peu près universellement pour effectuer le transport des betteraves, des tas aux laveurs, les *transporteurs hydrauliques*.

(1) *Bull. Ass. chimistes*, octobre 1928.

liques. C'est au chimiste Vivien qu'on doit leur introduction en France, vers 1882. Leur emploi comporte une grande réduction de main d'œuvre.

Les transporteurs consistent en une série de rigoles ou caniveaux dans lesquels l'eau circule. L'eau doit avoir une certaine vitesse,

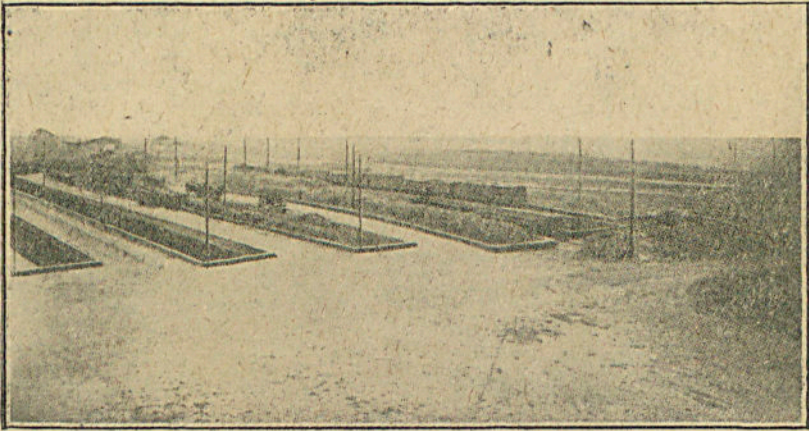


Fig. 6. — Vue générale des caniveaux pour le transport hydraulique des betteraves à la sucrerie d'Artres (Nord).

sans quoi les betteraves dont la densité est supérieure à celle de l'eau resteraient au fond et ne seraient pas entraînées.

Les caniveaux ont une pente de 10 m/m par mètre dans les parcours rectilignes, légèrement augmentée dans les courbes, qui ne doivent pas descendre au dessous de 6 m. de rayon.

La largeur des caniveaux est habituellement de 0,40 à 0 m,35, et une hauteur de 0 m, 50. Ils sont généralement en maçonnerie de brique et mortier, recouverte d'une chape de ciment bien lisse de 15 m/m. Le fond est convenablement arrondi, généralement suivant une anse de panier, et les parois sont un peu inclinées. On peut employer aussi des caniveaux constitués par des sortes de bâches mobiles qu'on déplace pour les amener aux différents tas.

La disposition la plus avantageuse au point de vue de l'économie de main d'œuvre, mais aussi la plus encombrante, est celle des caniveaux en tranchée (fig. 6). Elle consiste à placer le caniveau au fond d'une tranchée dont les parois sont inclinées à 45°. Ces parois sont

en terre battue ou en maçonnerie. Le caniveau est recouvert de claies de bois. On comble la tranchée de betteraves. Elles constituent ainsi des silos, qui peuvent bien entendu, être couverts de hangars. On fait écouler les betteraves au fur et à mesure des besoins en enlevant les claies de proche en proche.

La quantité d'eau consommée pour la manutention hydraulique des betteraves est importante ; un transporteur est en effet un petit cours d'eau dans lequel l'eau circule avec une vitesse d'environ 1 mètre et demi par seconde sur une hauteur de 10 cm. C'est un débit de 40 à 50 lit par seconde. La consommation est de l'ordre de 10 mètres cubes d'eau par tonne de betteraves travaillées.

Quand on ne dispose pas d'une quantité d'eau illimitée, on peut réemployer le même eau ; le peu d'argile qu'elle tient en suspension n'est pas gênante. Cependant il faut sans cesse un peu d'eau fraîche car à la longue il s'établirait des fermentations qui seraient gênantes. Bien entendu, il faut la décanter, pour la débarrasser de son excès de sable ou d'argile. L'utilisation d'eau provenant de condenseur barométrique, après refroidissement, est recommandable ; comme elle est encore tiède, son emploi est avantageux pour les betteraves que la terre adhérente, du fait de la gelée, fait coller entre elles.

La quantité de sucre perdue pendant le transport par les caniveaux a été déterminée par Pellet d'une part et par Claassen d'autre part et des valeurs du même ordre ont été trouvées par ces auteurs. On peut estimer ces pertes comprises entre 0,02 et 0,05%. Ce dernier chiffre correspondant à une longueur déjà très importante de 200 mètres et à une température qui est la plus élevée qu'on doive admettre, de 40 à 50 degrés. Mais, il ne s'agit ici que du cas des betteraves saines ; les betteraves altérées, soit du fait de la gelée, soit du fait de blessures, (celles qui sont graves sont les cassures), donnent lieu à des pertes beaucoup plus importantes et non négligeables, qu'il est évidemment impossible de chiffrer (1). Le passage des betteraves au transporteur hydraulique

(1) Il est important de noter que la perte en sucre des betteraves altérées augmente beaucoup avec la température de l'eau ; celle-ci au contraire influe peu sur la perte en sucre des betteraves saines.

leur fait absorber 1 % d'eau environ et elles augmentent de poids dans cette proportion.

Les caniveaux doivent être munis de dispositifs accessoires :

1° pour assurer l'arrêt des pierres : les *pierreurs* sont constitués par une partie approfondie de 20 centimètres environ sur une longueur de un demi-mètre; les pierres s'y accumulent et sont enlevées de temps en temps lors de l'arrêt du caniveau. On en met géné-

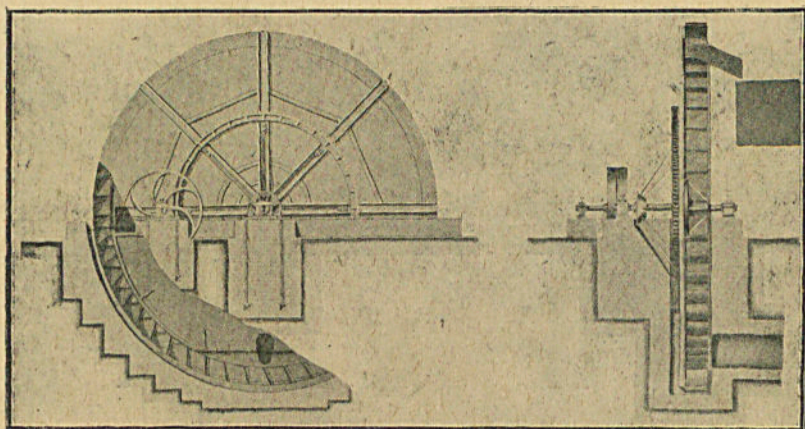


Fig. 7. — Roue élévatrice à betteraves. Coupes longitudinale et transversale.

ralement deux, avant l'arrivée aux laveurs. Des dispositifs plus compliqués peuvent être employés, lorsque les pierres abondent.

2° pour enlever les fibres, pailles, feuilles diverses qui accompagnent les betteraves. Simples fourches ou filets tendus à la surface du caniveau (en un point où le caniveau a été un peu approfondi) suffisent généralement ; on emploie parfois des appareils plus compliqués, faciles à imaginer, pour des cas particuliers où la paille à enlever est abondante.

Emploi de l'eau sous pression. — A l'alimentation des caniveaux par un simple courant d'eau on peut substituer l'emploi d'un fort courant d'eau sous la pression d'une vingtaine de mètres, dont la puissance mécanique est utilisée pour faire tomber les betteraves dans le caniveau. Le lavage des betteraves, que commence déjà tout transporteur hydraulique, est ici particulièrement

facilité. Le réemploi de l'eau est impossible. La dépense de force motrice supplémentaire est compensée par une certaine économie de main d'œuvre ; mais l'établissement des caniveaux doit être

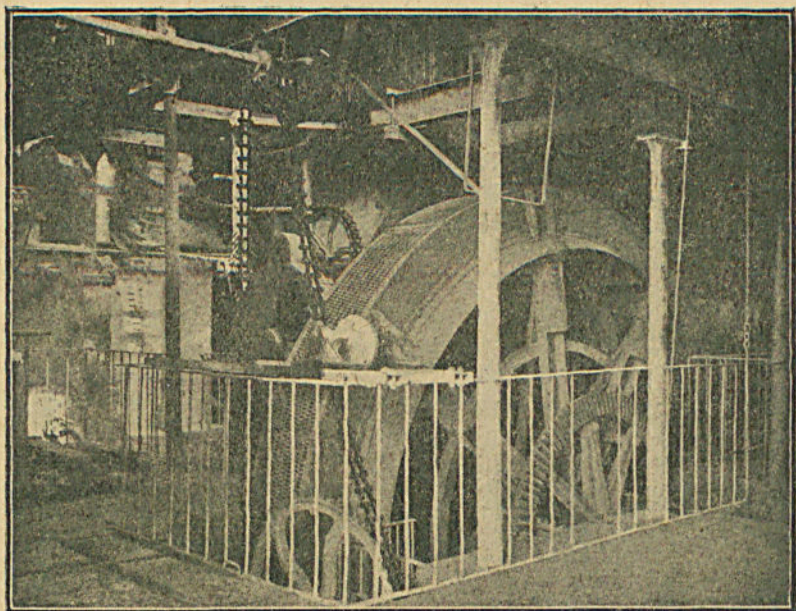


Fig. 8. — Roue élévatrice à betteraves vue générale.

plus soigné, afin d'éviter la désagrégation de la maçonnerie par le jet d'eau sous forte pression.

Les transporteurs hydrauliques lorsqu'ils sont bien agencés sont au total un mode de manutention fort peu dispendieux en ce qui concerne la main d'œuvre : trois hommes suffisent, par poste, pour le service de 500 tonnes par jour.

Il existe un petit nombre de sucreries dans lesquels des dispositifs particuliers ont été employés pour remplacer les transporteurs hydrauliques (wagonnets, câbles).

Élévation des betteraves au laveur.

Les betteraves amenées par le transporteur hydraulique ou autrement, doivent être élevées au dessus des laveurs dans lesquelles elles sont projetées. Comme elles sont accompagnées

d'une proportion notable de terre, on adopte des dispositions telles que la hauteur à laquelle on élève le tout soit aussi réduite que possible.

Les dispositifs sont habituellement les suivants :

1^o *Roue élévatrice* (fig. 7 et 8). — La roue élévatrice est une roue à aubes intérieures, qui forment avec les pourtours, des augets, disposés à la périphérie, dans lesquels se logent les betteraves. Elle a

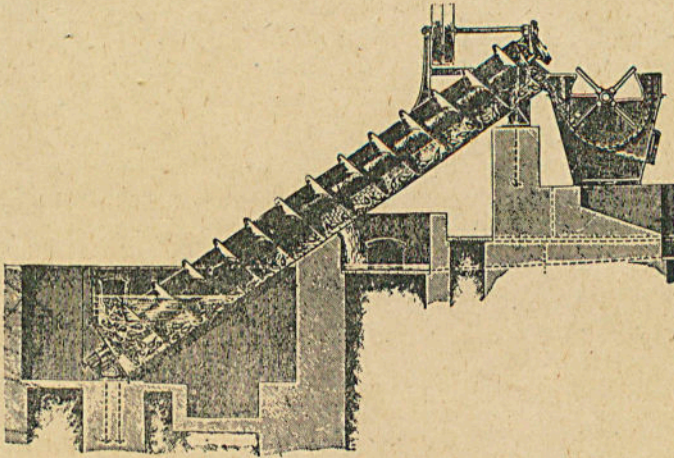


Fig. 9. — Hélice pour transport des betteraves au lavoir.

généralement un diamètre de 5 à 8 m. On en fait même ayant un diamètre de 10 mètres.

La roue doit naturellement tourner lentement, sa vitesse tangentielle ne devant pas dépasser 5 mètres par seconde. Cet engin robuste est formé d'un moyeu en acier coulé qui est calé sur l'arbre et porte six ou huit bras en fer plat. Elle est placée dans une fosse, dans laquelle débouche perpendiculairement, un peu au dessus du fond, le caniveau transporteur. La roue élévatrice est commandée par poulies fixe et folle.

La roue élévatrice, peut être *simple*, c'est-à-dire élevant seulement les betteraves, ou *mixte*, c'est-à-dire élevant à la fois l'eau et les betteraves.

La roue mixte dispense de l'emploi de pompes centrifuges pour les eaux sales. Mais l'augmentation de débit ne peut être

obtenue qu'avec une augmentation du diamètre de la roue c'est-à-dire par une installation plus coûteuse.

2° *Elévateur à palettes*. — Les caniveaux débouchent dans un tambour à fond perforé qui laisse écouler les eaux boueuses, tandis que les betteraves sont poussées par un agitateur à bras sur un élévateur constitué par une courroie sans fin de caoutchouc, garnie de tasseaux qui y sont fixés à l'aide d'écrous et de contre plaques.

On donne à la courroie une largeur de 250 à 400 m/m suivant l'importance du travail. On augmente également le débit 1° en diminuant l'espacement des palettes ; 2° en augmentant la vitesse linéaire de la courroie.

3° *Elévateur à godets*. — On emploie aussi l'élévateur à godets pour élever les betteraves verticalement. Mais, le plus souvent, l'emploi de cet appareil est réservé aux betteraves après lavage.

4° *Elévateur à hélices*. — C'est une vis d'Archimède dont les spires de tôle se meuvent dans une auge fixe. Les spires sont fixées sur un arbre en fonte creux.

Cet appareil s'emploie avec un dispositif de séparation comme il est dit ci-dessous, ou bien la séparation se fait dans l'auge elle-même, dont la partie inférieure est disposée à cet effet.

5° *Emploi de l'air comprimé*. — Béduwé a appliqué l'*émulseur* (1) à l'élévation des eaux boueuses combiné avec l'élévation des betteraves par une roue élévatrice simple.

Dans ce système les eaux boueuses s'écoulent de la fosse de la roue dans un puisard d'où elles sont reprises par l'air comprimé.

Le même ingénieur a appliqué l'air comprimé à l'élévation simultanée de l'eau et des betteraves.

L'appareil, de construction assez simple, se compose d'un tube en U de 350 m/m de diamètre intérieur à branches inégales, dont la partie inférieure repose sur le fond d'un puits (fig. 10)

(1) Les émulseurs sont basés sur un principe assez ancien appliqué à diverses époques et en divers lieux. Ce principe consiste à produire, dans un tuyau, des chapelets formés alternativement par des pistons de liquide et des pistons d'air dont le poids au total est très inférieur au poids d'une colonne liquide.

La branche la plus courte débouche dans le conduit d'amenée des betteraves, la branche la plus longue débouche dans un caniveau à un niveau supérieur à celui du laveur où sont amenées les betteraves.

On injecte de l'air comprimé à la base de la branche ascendante.

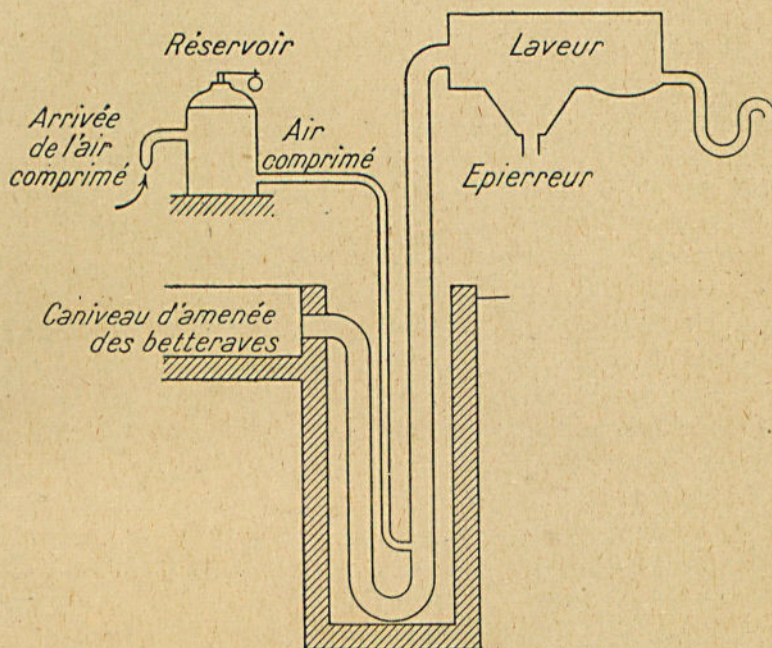


Fig. 10. — Emploi de l'air comprimé pour l'élévation des betteraves (Système Beduwé).

La branche descendante doit avoir une longueur supérieure à la hauteur totale à laquelle on veut remonter les betteraves.

Un dispositif particulier d'épierreage doit être ménagé à la suite de l'arrivée des betteraves dans la nochière qui les conduit au laveur. Une seconde pompe Mammouth amène un courant d'eau et d'air qui soulève les betteraves et les parties légères qui continuent leur chemin dans la nochière vers le laveur tandis que les pierres tombent et sont évacuées.

Lavage des betteraves.

Le lavage des betteraves présente une importance exceptionnelle dans la fabrication du sucre. La moindre négligence, ou

erreur, dans l'exécution de cette partie du travail a des répercussions dont les considérations suivantes feront bien voir la nature et l'étendue.

Lorsque la terre reste encore au contact des racines elle produit une usure rapide des couteaux des coupe-racines, surtout lorsque cette terre est riche en silice. Avec des couteaux s'usant trop vite, si attentionné qu'on soit à les remplacer, on fait fatalement de mauvaises cossettes, d'où de mauvais épuisements; sans compter que la dépense de matériel est considérable.

La terre n'a pas seulement une action néfaste en raison de son action mécanique sur les couteaux de diffusion : elle est un dangereux véhicule de microorganismes qui engendrent dans le jus de diffusion des fermentations très nuisibles.

Les divers modèles de laveurs sont basés sur le même principe : agitation des betteraves dans une auge métallique munie de bras disposés en hélice qui les fait cheminer jusqu'à l'extrémité par où elles sortent lavées. Une partie de l'auge, du côté de l'entrée des betteraves comporte un double fond en tôle perforée par où s'écoulent les boues ; à la suite est une sorte de trémie (épierreur) qu'on vide par une vanne. Dans certains appareils l'évacuation des boues se fait automatiquement.

Si les principes généraux sont les mêmes pour les divers appareils, une assez grande variété se rencontre dans les dispositifs adoptés, soit dans la forme et l'inclinaison des fonds, dans la disposition des bras, les dispositions et dimensions relatives de la chambre de débouillage et de la chambre de rinçage (Fig. 13, 14 et 15). A condition que les betteraves ne reçoivent pas de blessures et surtout ne puissent se coincer entre les bras et les parois il y a intérêt pour assurer un bon lavage, à prolonger le séjour des betteraves dans les lavoirs sans crainte qu'il en résulte une perte de sucre.

Les principes suivants sont à la base du calcul des dimensions des lavoirs : Tout d'abord les installations doivent être assez variables selon qu'on a affaire à des betteraves souillées de terres siliceuses, qui peuvent être lavées par un séjour de 3 à 4 minutes dans le laveur ou à des betteraves qui sont souillées de terres argileuses qui nécessitent une durée de lavage d'environ 7 minutes. Déterminer le temps nécessaire est le point délicat. Si on admet

une valeur t pour ce temps de lavage en minutes, on en déduit aisément le volume en mètres cubes à donner à l'appareil par la

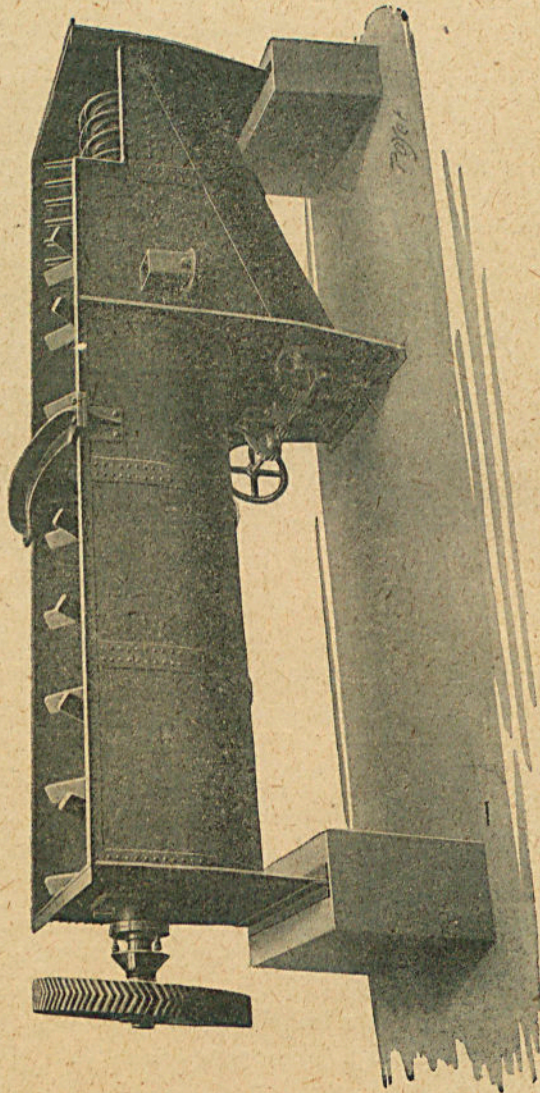


Fig. 11. — Laveur débourbeur simple (Etablissements Maguin).

formule suivante dans laquelle P est le poids de racines à travailler par minute et D la densité apparente ou poids de 1 mètre cube de betteraves :

QUILLARD: — Sucrerie.

6

$$\frac{P}{D} \times t.$$

On modifie la marche du lavoir en agissant, dans des limites d'ailleurs assez restreintes, sur la vitesse de rotation des bras.

Il y a un certain rapport à observer entre la longueur et la largeur des lavoirs. Les appareils les plus larges sont ceux qui dépensent le moins de force ; on donne le plus souvent une longueur de 6 fois la largeur.

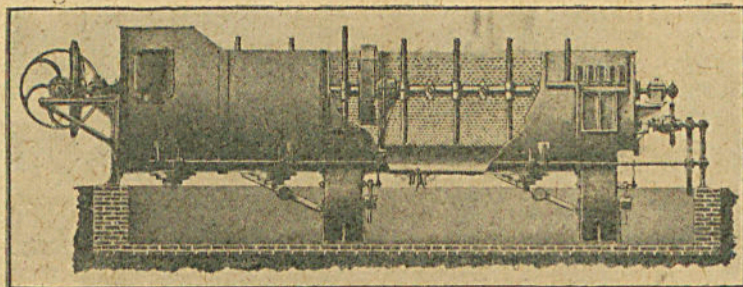


Fig. 12. — Laveur à betteraves horizontal (Vue en coupe).

On emploie parfois deux laveurs l'un comme débourdeur, l'autre comme rinceur ; mais on peut aisément réaliser les deux opérations avec un appareil unique bien construit.

La disposition et l'écartement des bras présentent une assez grande importance. On doit les disposer de manière à ce que les betteraves se déplacent les unes par rapports aux autres et non en blocs, ce qui présente l'inconvénient de maintenir entre elles des pierres qui ne tombent pas dans l'épierreur. On réduit autant que possible le nombre de bras, qu'on place habituellement à 30 cm. les uns des autres.

Certaines installations comportent des lavoirs avec deux arbres munis de bras (fig. 15).

Dans certaines usines en Amérique, on munit les laveurs de séparateurs magnétiques qui débarrassent les betteraves des débris de fer.

Elévateurs à betteraves.

A la sortie des laveurs, les betteraves qui se trouvent alors sensiblement au niveau du sol doivent être élevées au dessus de

l'ensemble des installations disposées pour leur pesée, leur transformation en cossettes et leur épuisement.

On emploie pour cette manutention des élévateurs à betteraves

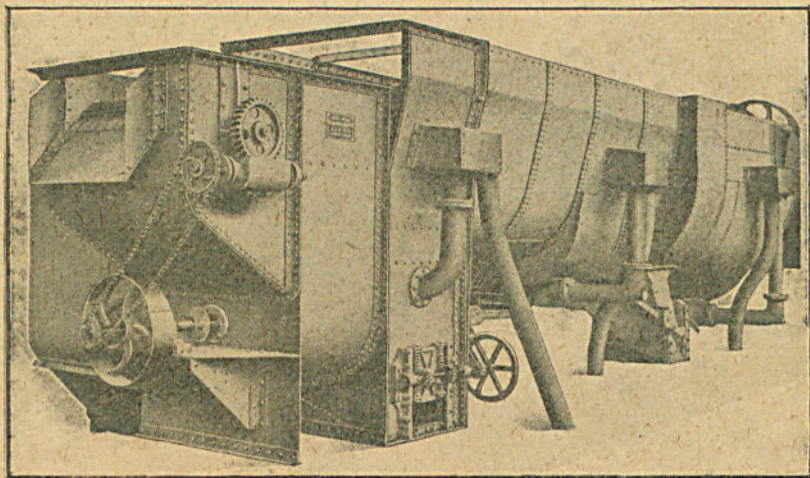


Fig. 13. — Lavoir à betteraves horizontal (Vue générale). (Cliché Gillain).

raves qui sont formés de godets fixés le plus souvent sur deux chaînes (une seule dans de très petites installations) s'enroulant sur des poulies à gorge.

Pesage des betteraves.

Autrefois, sous le régime de la loi de 1884 les betteraves étaient pesées par le service de la régie après leur lavage et ce poids servait de base à l'impôt. Ainsi il importait de peser des betteraves aussi sèches que possible. L'installation du lavage se complétait donc par un certain nombre d'appareils : jeu de brosses, table à secousses, égoutteur destinés à essuyer et sécher les betteraves. Ces appareils sont devenus inutiles. On conserve parfois encore la table à secousses, qui permet un épierrage et un nettoyage supplémentaire, dont dispensent d'ailleurs des installations bien établies.

Lorsque le régime fiscal auquel nous faisons allusion était en vigueur, les betteraves, à la sortie du lavage et de l'égouttage, devaient être montées dans une bascule particulière dite bascule-régie dont le fonctionnement devait répondre à des conditions soigneusement définies, de manière qu'il soit absolument impossible d'in-

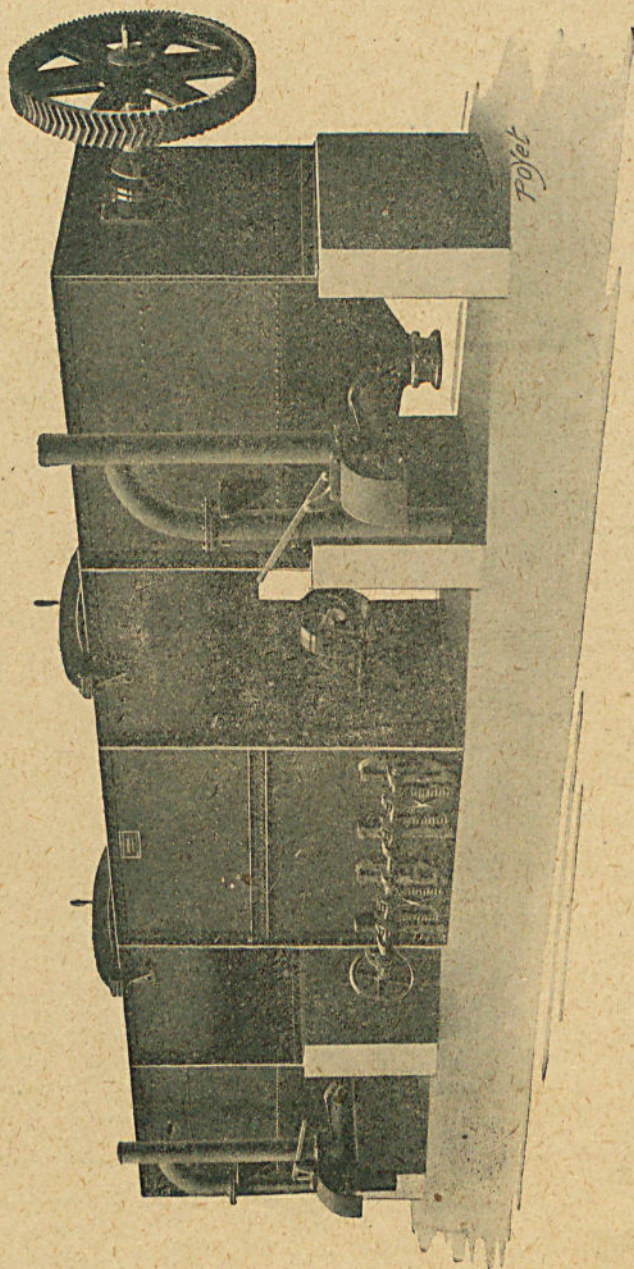


Fig. 14. — Lavoit à betteraves (Etablissements Maguin).

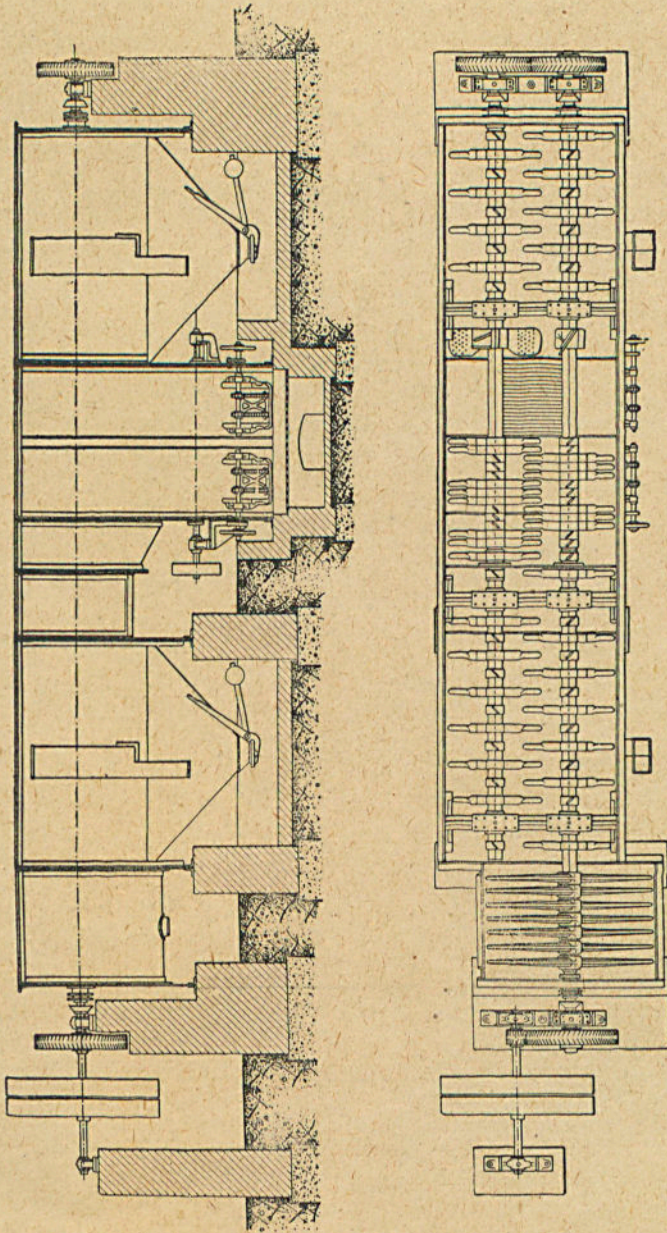


Fig. 15. — Laveur hydro-épierreur à deux arbres (Etablissements Maguin). Plan et coupe verticale.

roduire des betteraves sans qu'elles passent par la benne contenant les betteraves, dont on déterminait le poids, et sans qu'on puisse introduire la moindre quantité de betteraves dans cette benne, quand elle en contenait le poids voulu.

Ces balances n'étaient pas automatiques. Elles devaient d'ail-

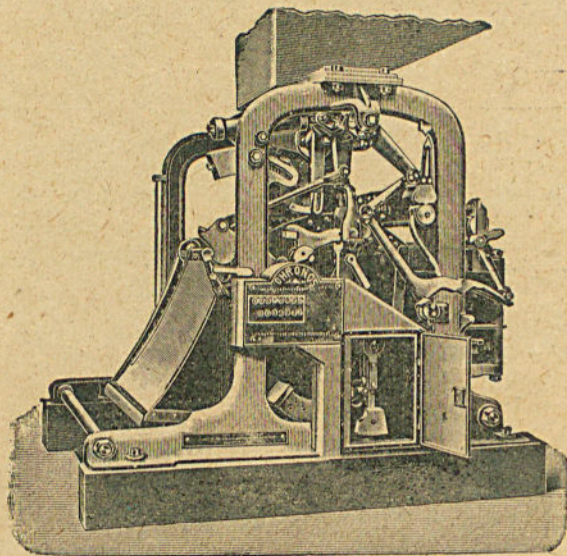


Fig. 16. — Bascule automatique « Chronos » (Etablissements Maguin).

leurs avoir une grande sensibilité (de plus de 0 k, 500 par tonne).

Certaines usines ont conservé ces balances, dont l'usage n'est plus obligatoire, pour assurer le contrôle de la fabrication ; beaucoup d'usines les ont remplacées par des balances automatiques munies de compteurs, qui enregistrent le nombre des pesées (fig. 16 et 17).

Les balances automatiques sont en principe constituées par un fléau à bras égaux ; à l'extrémité d'un des bras repose sur un couteau le réservoir métallique ou benne qui reçoit les betteraves ; à l'extrémité de l'autre bras est fixé le poids. Quand l'équilibre est établi par introduction dans la benne du poids voulu de betteraves un déclenchement se produit, l'enregistreur fonctionne et les betteraves se déversent ; le même mouvement ferme l'arrivée des betteraves dans la benne.

Seul l'emploi d'une bonne bascule automatique permet le contrôle efficace de la fabrication. Il faut que ses indications ne

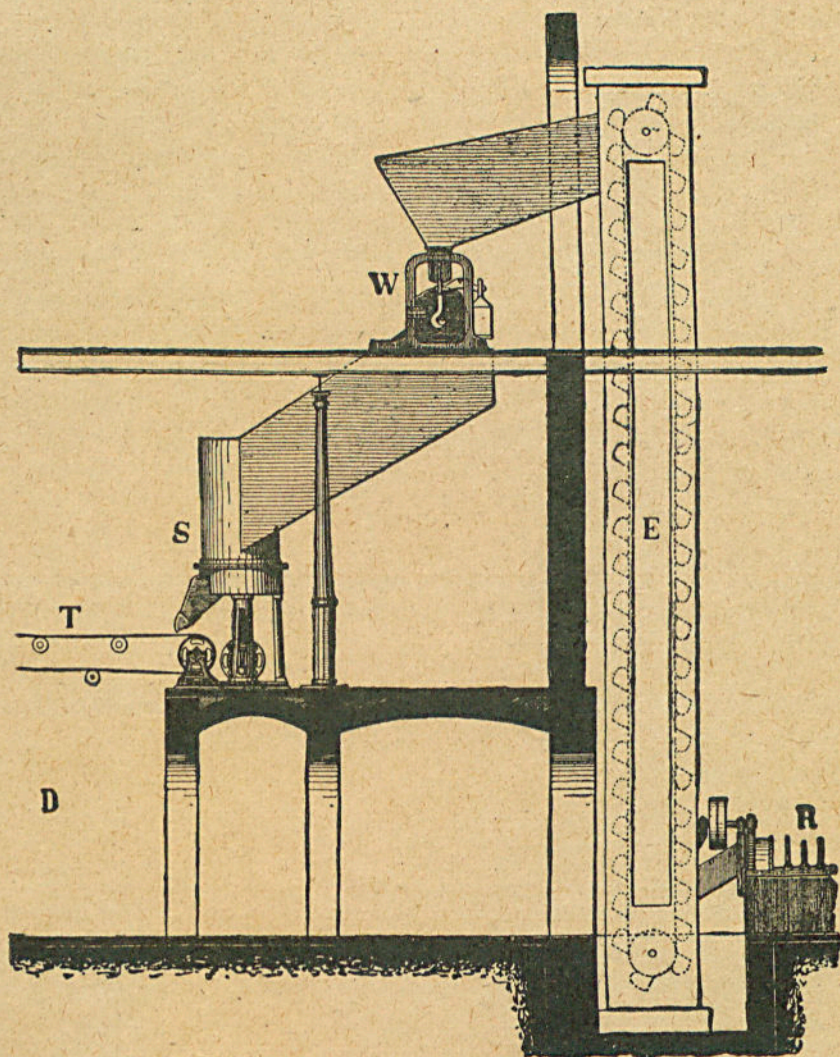


Fig. 17. — Schéma de l'installation d'une bascule à betteraves « Chronos ». (Cliché Pingris).

R, Laveur ; E, Chaîne à godets ; W, Bascule chronos ; S, coupe racines ; T, transporteur à courroies.

puissent être volontairement faussées par ceux qui l'emploient dans le but d'augmenter leurs primes à la fabrication.

Quels que soient les dispositifs employés pour assurer la sincérité du pesage il est nécessaire de vérifier fréquemment ces balances et les tenir en constant état de propreté. Si la benne contient en effet un kilog de débris divers et si l'on fait 2000 pesées par vingt-quatre heures, on arrive, comme on le voit à majorer sensiblement le chiffre de betteraves travaillées.

Les balances automatiques les plus répandues en France (Chronos, Libra) sont construites pour des pesées de 300 kilos.

Traitement des radicules et queues de betteraves,

La récupération des radicules et queues de betteraves présente un intérêt, car leur perte, au cours des diverses manutentions, constitue un déchet, qui peut atteindre 2 % en poids des betteraves travaillées.

Leur richesse est sensiblement plus faible que celle des betteraves mais la difficulté de leur utilisation vient surtout de ce qu'elles contiennent une forte proportion de terre et de pierres. Elles valent cependant largement d'être recueillies.

Voici les compositions respectives de radicules et de racines correspondantes (Journal des Fabricants de sucre, Avril 1904) ainsi que la composition des collets.

	Décolletage	Radicelles	Racines décolletées.
Sucre	3.20	16.40	19.05
Matières sèches	26.40	25.00	25.80
Cendres	1.85	0.89	0.30
Insoluble dans l'eau	9.35	6.12	5.16
Pureté	77.38	86.77	92.62
Salin	7.13	18.43	63.50

Il importe de récolter soigneusement les radicules et queues de betteraves qui se trouvent dans les eaux sales sortant des laveurs, non seulement pour la valeur de ces matières mais encore pour éviter leur présence dans ces eaux ; elles provoquent en effet des fermentations dans les bacs décanteurs.

Divers dispositifs sont employés, dans ce but, à la suite des laveurs.

Evacuation des eaux de lavage des betteraves.

L'évacuation des eaux de lavage des betteraves représente une notable dépense et peut être une cause de difficultés lorsque

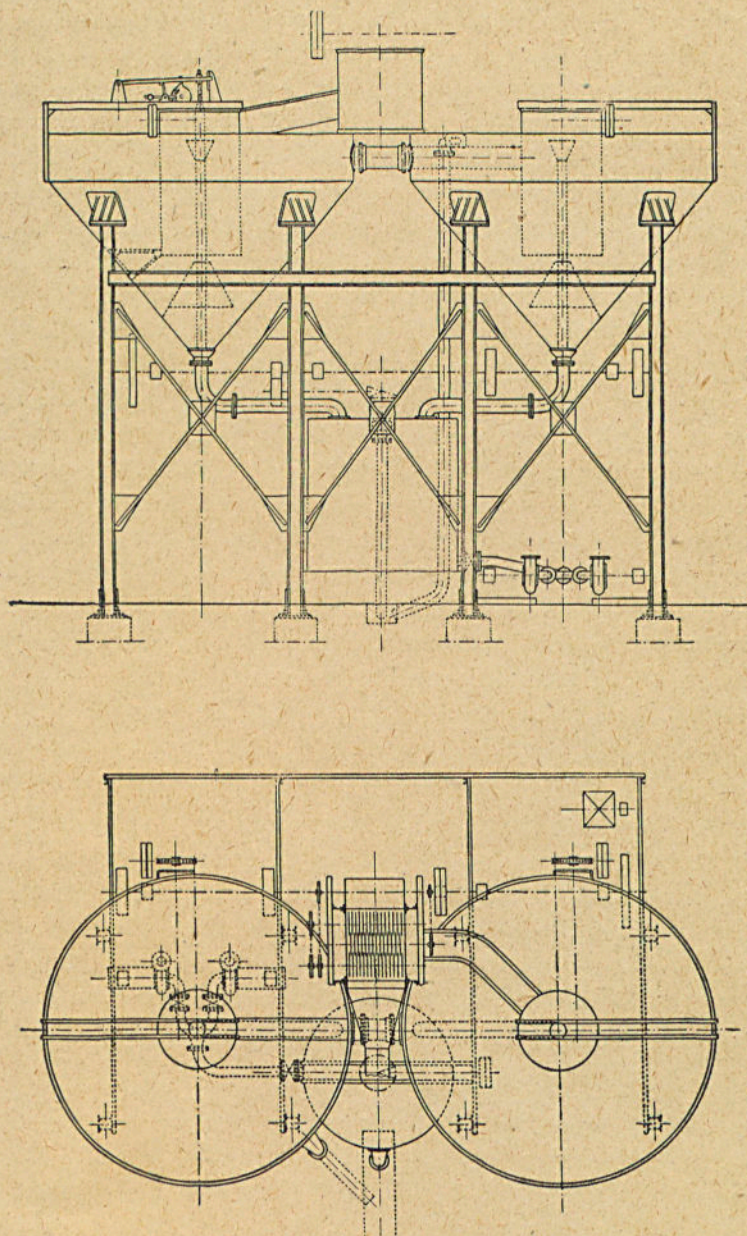


Fig. 18. — Installation de deux décanteurs (Etablissements Maguin).

les installations ne sont pas faites rationnellement. La dépense d'eau dans une sucrerie étant fort importante, il est rare qu'on en ait suffisamment pour se dispenser d'utiliser à nouveau celle qui sort du transporteur. On l'envoie donc, à l'aide de pompes, dans des bassins de décantation où elle dépose la terre qu'elle tient en suspension. Bien entendu il est plus avantageux de mettre les bassins de décantation en contre-bas de manière qu'on ait à élever l'eau claire plutôt que l'eau boueuse dont la manutention exige une pompe à eau spéciale qui prend l'eau dans une fosse munie d'un agitateur afin d'éviter le dépôt avant le pompage.

Les pompes à piston et les pompes centrifuges sont employées pour les élévations d'eau, et les préférences des fabricants varient suivant les conditions du travail demandé à ces appareils. Les pompes centrifuges sont d'un emploi avantageux lorsqu'on n'a pas à élever l'eau à une grande hauteur ; elles permettent, par variation de leur vitesse dans de faibles limites de faire varier considérablement le débit. Elles se prêtent particulièrement bien à la commande électrique et ainsi se trouve compensé par la suspension des engrenages le rendement inférieur de ces pompes par rapport aux pompes à piston. Ajoutons que le prix d'achat des pompes centrifuges est inférieur au prix des pompes à piston.

On peut aussi recourir à l'emploi d'une roue élévatrice pour l'évacuation des eaux sales. Ce système présente l'avantage d'une faible usure.

On remplace parfois, quand les emplacements manquent, les bassins à décantation par des installations mécaniques qui ont l'avantage de tenir peu de place. Elles consistent en un ou plusieurs réservoirs en forme de cône, où s'accumulent à la partie inférieure les matériaux solides. On dispose une soupape de vidange qui se lève automatiquement pour laisser évacuer le dépôt boueux. L'eau décantée est prélevée à la partie supérieure (fig. 18).

CHAPITRE II

EXTRACTION DU JUS DE LA BETTERAVE

Généralités historiques.

Nous avons vu précédemment que la betterave est formée de 95 % de jus, c'est-à-dire d'un liquide aqueux dans lequel se trouve dissoute la totalité du sucre et de 5 % de *marc* ou ligneux insoluble.

Ce marc est constitué par les enveloppes cellulosiques d'une infinité de cellules dont le contenu est le jus sucré lui-même.

Il semble naturel pour extraire le jus manifestement retenu par les enveloppes cellulosiques, de briser celles-ci de façon à laisser s'écouler le précieux liquide. Nous lisons en effet dans Walkhoff (Traité de la Fabrication du Sucre).

« Pour extraire des betteraves le jus qu'elles renferment il est essentiel de détruire au préalable la constitution anatomique de la racine, de déchirer les cellules dont les parois offrent, malgré leur faible épaisseur une très grande résistance ».

Et plus loin cet auteur classique de l'industrie sucrière ajoute « la racine peut séjourner des jours entiers dans l'eau sans céder de son sucre au liquide extérieur ».

Cependant l'observation sagace d'un praticien devait modifier complètement ces vues théoriques.

Le procédé primitif d'extraction du sucre du jus de la betterave était basé sur la pression. On faisait d'abord de la pulpe à l'aide de râpes, qui d'abord très primitives se perfectionnèrent et réalisèrent l'alimentation continue. C'est la râpe Champenois qui réalisa le modèle le plus pratique : elle était formée par un cylindre creux garni de dents. Le cylindre est fixe ; à l'intérieur tourne un arbre à palettes. Les racines sont introduites à l'intérieur et appliquées

contre la face interne du cylindre creux. C'est la râpe Champenois qui était généralement employée quand le procédé d'extraction qu'il permettait d'employer fut remplacé par la *diffusion*.

Les pulpes à la sortie des presses étaient introduites dans des sacs contenant 8 kilos de matière et soumis à la pression de 28 kilos par centimètre carré. Divers modèles de presse furent employés notamment des presses à rouleaux.

La force centrifuge fut employée par Choettler pour extraire le jus au lieu d'employer la pression. La pulpe additionnée de 30 % d'eau était soumise à l'action de la turbine. Il y avait là combinaison de la pression et de l'épuisement par l'eau. On obtenait ainsi un jus très dilué car il fallait faire couler dans la turbine une certaine quantité d'eau pour assurer l'épuisement.

On a récemment eu à nouveau recours à l'action de la force centrifuge dans des conditions plus méthodiques.

Macération. — Dubrunfaut avait observé que l'addition de très faibles quantités d'acide (moins de 0,005 % d'acide sulfurique) modifiait le passage du sucre à travers la paroi constituée par les enveloppes cellulaires de la betterave.

Procédé de Schutzembach. — La betterave était découpée en cossettes et celles-ci étaient mises en contact avec de l'eau froide dans des cuves munies d'agitateurs. On retirait 120 à 130 litres de jus pour 100 kilos de betteraves. Schutzembach obtenait par application de son procédé des jus visqueux.

Pendant on peut considérer que ce procédé était déjà un acheminement vers le procédé actuel de diffusion; l'épuisement était en effet méthodique. Les cuves à fond incliné étaient disposées en batteries et en gradins afin de faire passer le liquide d'épuisement d'un vase dans l'autre.

Dombasle en 1821 produisait des cossettes qu'il soumettait à l'action de l'eau bouillante dans des cuves à double fond avec circulation méthodique d'une cuve à l'autre.

L'action de l'eau chaude était néfaste, produisant une formation de pectine aux dépens de la pectose du jus.

Baudrimont, en France, puis Walkhoff, firent des essais relatifs à l'emploi d'une méthode mixte, combinant la pression, à laquelle est d'abord soumise la pulpe dans des presses hydrau-

liques, à l'épuisement, auquel est soumis la pulpe après un nouveau râpage. Cet épuisement se faisait dans des appareils de formes variées munis de doubles fonds avec tôles perforées.

Pelletan en 1837 imagine le lévigateur formé par une vis d'Archimède provoquant une circulation de la pulpe dans un tambour rempli d'eau froide ; cette eau circulait en sens inverse de la pulpe.

La caractéristique du procédé Pelletan est l'emploi de l'eau froide, qu'on retrouve dans le procédé de Schutzembach.

Reichenbach, Hallette, Boucherie et Schistoff emploient divers dispositifs de macération à l'eau chaude qui ne donnent que des résultats médiocres puisque le principe est mauvais.

La macération à l'eau chaude fut appliquée sur une grande échelle dans la fabrique de M. Robert, fabricant de sucre d'origine française, établi à Seelowitz en Moravie. On y employait des cossettes produites dans une machine à hacher pas très différente d'un coupe-racines à plateau rotatif horizontal actuel. Ces cossettes étaient chargées dans des cylindres de tôle à double-fond, chauffés par un serpentin dans lequel on admettait de la vapeur. Les cylindres étaient disposés en batterie et la partie inférieure de chacun d'eux communiquait avec la partie supérieure du suivant.

Mais Robert, inspiré sans doute par les travaux de Dutrochet sur la dialyse, comprit qu'il ne fallait pas abîmer les cellules par la chaleur pour favoriser le passage du sucre à travers des membranes et qu'il ne fallait pas charger le jus en matières pectiques nuisibles. En 1864 il fit breveter un procédé, dit de *diffusion*, pour l'extraction du sucre des betteraves. Dans sa fabrique de Seelowitz une partie des betteraves était traitée par lavage, après découpage en cossettes à l'aide d'un coupe-racines. Mais de nombreux perfectionnements de détail étaient nécessaires pour que le procédé fut réellement pratique : la régularité des cossettes, le réglage de la température vers 80°, etc. D'ailleurs des perfectionnements aux procédés d'épuration et de filtration (défécation trouble de Jellineck, utilisation du filtre-pressé) intervinrent de façon décisive, pour permettre au procédé de prendre place dans les sucreries.

Robert éprouva de grandes difficultés à faire adopter son procédé. Dans une des éditions de son classique traité, Walkhoff consacre de nombreuses pages à établir que le procédé n'est pas nouveau, puis à démontrer qu'il ne présente aucun avantage.

La première installation de diffusion faite en France, fut celle de Villeneuve-sur-Verberie, montée par Quarez en 1876. Elle comportait un coupe-racines à plateau horizontal et une batterie de dix diffuseurs munis de calorisateurs; les pulpes étaient traitées dans une presse Klusemann.

Mais si nous qualifions de classique le procédé de diffusion généralement employé, il n'en est pas moins dans le domaine des choses possibles qu'il subsiste par la suite de profondes modifications. Le retour en arrière est parfois une forme de progrès. Dans ses intéressantes observations rétrospectives sur les sucreries, qu'il publia en 1914 dans le Journal des Fabricants de Sucre, A. Vivien rappelle qu'en 1884 des essais furent faits par la Société des anciens établissements Cail (à la râperie de Vallangoujard) pour extraire à froid le jus de betteraves râpées très fines. Et il ajoute « Ce procédé n'a pas eu d'autres applications, mais il peut se reprendre un jour, surtout en présence de la hausse du prix du charbon ».

Principes de la diffusion.

Une expérience célèbre de Berthollet mit en évidence le phénomène de la *diffusion* des gaz. On emplit un ballon d'acide carbonique et un autre d'hydrogène en les faisant communiquer par un tube, le ballon d'hydrogène (le gaz le moins dense) étant d'ailleurs à la partie supérieure. Au bout d'un certain temps on constate que les deux ballons ont une même composition. Si les deux ballons avaient même volume, le contenu de chacun d'eux était formé d'égaux parties de gaz carbonique et d'hydrogène.

Les molécules gazeuses sont en état constant de mouvement et tendent à occuper la totalité de l'espace disponible. Chacun des deux gaz a donc occupé la capacité totale des deux ballons.

Si on met en présence au lieu de gaz des solutions formées d'un même liquide tenant en solution des corps divers, les molécules de ces corps se comportent comme des molécules gazeuses (Vant' Hoff). Il existe une pression interne ou pression osmotique, qui a pour effet de faire occuper à chacun des corps dissous la totalité du volume du solvant. Les solutions différentes mises en contact diffuseront donc, comme faisaient les gaz dans l'expérience de Berthollet. c'est-à-dire qu'elles se mettront en équilibre et il y

aura, au total, même nombre de molécules par unité de volume de liquide pris en un point quelconque de l'ensemble.

Si au lieu de mettre directement en contact les liquides, nous interposons une membrane, le mouvement des molécules s'effectue à travers cette membrane comme il s'effectuait, dans le cas précédent à travers la surface de séparation, et il y a de même diffusion. Mais ici le phénomène se complique.

Dutrochet avait observé qu'en plongeant dans un récipient contenant de l'eau un tube dont la partie inférieure était fermée par une membrane, une solution de sel marin étant contenue dans ce tube, l'eau pure traverse la membrane de l'extérieur du tube à l'intérieur et le sel de l'intérieur à l'extérieur. En renouvelant l'eau extérieure on peut éliminer la totalité du corps dissous dans l'eau du tube intérieur. Cette expérience met en évidence le principe même de la diffusion.

Celui-ci se complique par les observations de Graham 1849 (Journal of the Chemical Society) qui se résument ainsi :

Certaines substances passent aisément à travers la membrane (cristalloïdes) d'autres ne passent pour ainsi dire pas (colloïdes). On sait combien s'est développée dans ces dernières années l'étude des colloïdes, qui a pris naissance au cours des travaux de Graham sur la diffusion à travers les membranes.

Les cristalloïdes passent à travers les membranes avec des vitesses très différentes, selon leur nature. Graham avait observé qu'il diffuse en un temps donné, (dans des conditions identiques de surface de dialyseur, de température, de concentration) pour 1 de chlorure de sodium, 0,472 de sucre de canne et 0,005 de caramel.

Ces phénomènes désignés sous le nom de *dialyse* ou *osmose* furent appliquées industriellement dès 1853 par Dubrunfaut à la séparation du sucre et des sels pour le traitement des mélasses. Des feuilles de papier parchemin (papier trempé peu de temps dans l'acide sulfurique concentré) sont tendues sur des cadres en bois disposés verticalement dans des caisses qui se trouvent ainsi divisés en compartiments. Les uns sont traversés par un courant d'eau chaude, les autres sont traversées par un courant de mélasse diluée. Les sels passent à travers les membranes et la solution sucrée impure primitive s'est ainsi épurée.

Les cellules végétales constituent des sacs formés par une membrane cellulosique, perméable davantage aux sels qu'au sucre d'ailleurs. C'est en 1864 que Robert applique les principes ci-dessus à des betteraves divisées en minces lames, de façon que l'eau pénètre autour des cellules et fasse jouer à la membrane de chacune d'elles le rôle d'un dialyseur.

Nous indiquerons sommairement ici les points théoriques essentiels sur lesquels la pratique de la diffusion repose.

Graham avait établi que les *quantités de substances diffusées dans l'unité de temps augmentent avec la température.*

De nombreux travaux ont permis de donner à cette loi une forme mathématique (Fick) sur laquelle nous n'insistons pas, car il ne semble pas qu'on en puisse tirer des conclusions intéressantes les questions qui nous occupent.

Cette loi s'exprime ainsi : D étant la quantité de matière diffusée dans l'unité de temps à la température considérée, t, D₁₈ la quantité de matière diffusée à 18° :

$$D = D_{18} [1 + 0,024 (t - 18)]$$

Elle s'applique aux bases et aux acides ; pour les sels et les corps non électrolytes tels que le sucre le coefficient 0,024 devient 0,026. Il nous suffit de noter que la température est le facteur essentiel pour l'accélération de la diffusion.

Les quantités de cristaalloïde diffusées à travers une même membrane dans l'unité de temps augmentent avec la concentration de la solution. Cette observation faite déjà par Graham, se trouve confirmée par l'interprétation donnée par Vant'Hoff aux phénomènes relatifs aux dissolutions. La pression osmotique, qui provoque la diffusion des molécules dans la masse liquide, augmente précisément avec la concentration.

Diverses substances diffusant simultanément, chacune d'elles se comporte comme si elle était seule. Cette observation due à Graham a fait l'objet de nombreuses études (Marignac). Elle se trouve sensiblement confirmée par divers travaux; cependant il résulte de ces études, que, dans un mélange la vitesse de diffusion du sel qui se diffuse le plus est toujours un peu augmentée.

Les différentes substances qui se trouvent en dissolution dans le jus de betteraves ne diffusent pas toutes avec la même vitesse, quand elles se trouvent dans les mêmes conditions.

La composition de la matière en dissolution dans le jus n'est pas la même aux différents stades de l'épuisement par diffusion.

Le jus de diffusion est plus pur que le jus de la betterave.

Les dernières portions de l'épuisement, sont moins pures que la portion principale du jus diffusé.

Il se pourrait que la sucrerie moderne s'orientât manifestement maintenant dans une voie nouvelle au point de vue de la diffusion.

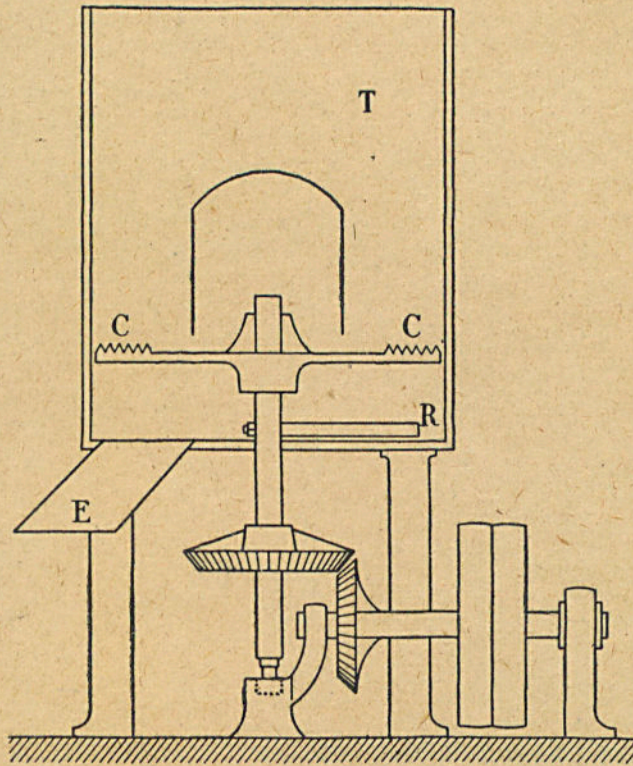


Fig. 19. — Schéma d'un coupe-racines à plateau rotatif.

Après les très anciennes expériences de Schutzembach et les tentatives plus récentes de M. Lafeuille, M. de Vecchis a réussi à mettre au point d'une façon industrielle le traitement de la cossette desséchée dans laquelle les matières organiques colloïdes sont insolubilisées du fait de la dessiccation. Aussi, ces matières ne diffusant pas, on obtient des produits très concentrés (sirops au lieu de jus) beaucoup plus purs.

Technique de la diffusion.

A la sortie de la benne de pesage les betteraves sont découpées en cossettes à l'aide d'un coupe-racines ; on emploie des appareils de formes différentes mais basés toujours sur le même principe :

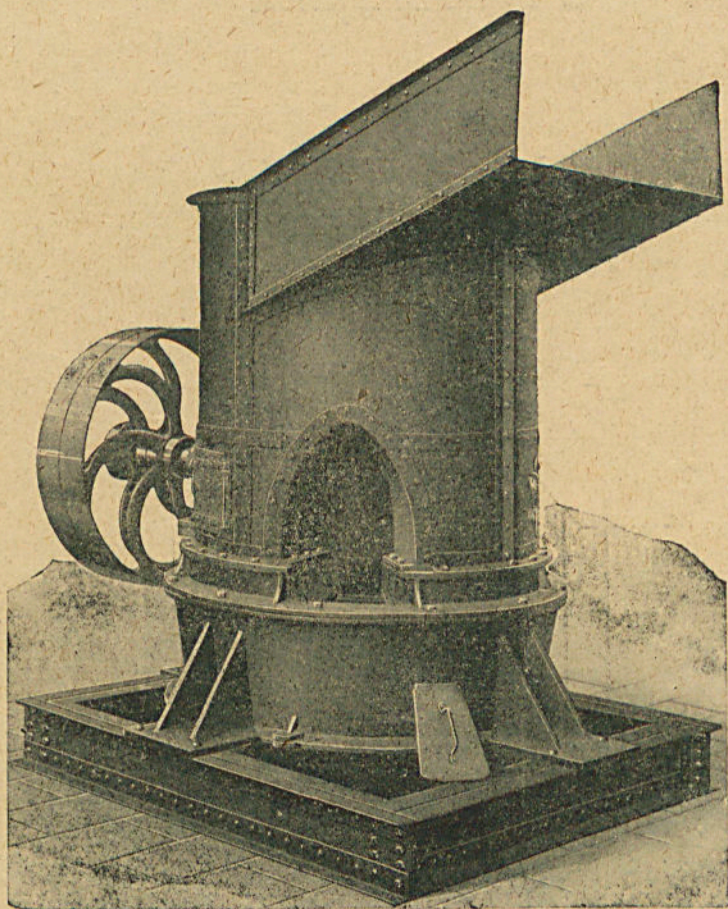


Fig. 20. — Coupe-racines à plateau (Établissements Maguin).

les betteraves sont forcées de se présenter devant des couteaux d'acier qui les découpent en lanières de formes différentes, dont les dimensions sont de l'ordre de quelques centimètres de longueur et de quelques millimètres d'épaisseur. La forme la plus usitée est

celle dite *faîtière* parce qu'elle ressemble à une tuile de faitage de toiture. Cette forme correspond aux avantages suivants :

Une grande surface de contact avec le liquide et pas de tendance à se tasser dans les diffuseurs.

Les divers types de coupe-racines sont les suivants :

Coupe-racines à plateau rotatif.

Dans ces appareils, les couteaux sont fixés sur un plateau horizontal qui forme le fond du coupe-racines. Des ouvertures sont

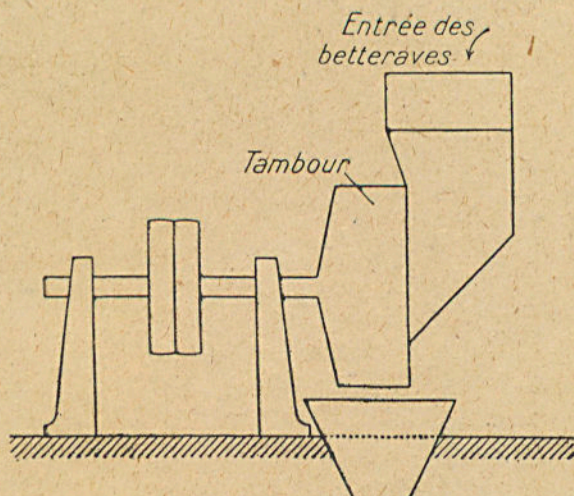


Fig. 21. — Schéma d'un Coupe-racines à tambour rotatif.

ménagées dans le plateau et les couteaux y sont placés comme les lames d'un rabot (fig. 19). Une enveloppe de fonte ou même de tôle l'entoure et une trémie y est adaptée, dans laquelle sont déversées les betteraves. Un inconvénient de ce système est que la trémie doit toujours être pleine car il est nécessaire que, par leur poids même, les betteraves s'appliquent sur les couteaux. En outre, la différence de vitesse entre la périphérie et les points rapprochés du centre limite l'étendue à donner aux couteaux. Des dispositifs particuliers doivent en outre être adoptés, pour empêcher les betteraves d'être entraînées dans le mouvement de rotation.

La force centrifuge tend à éloigner la betterave à couper du contact du couteau : on remédie à cet inconvénient, dans le modèle

Bergreen, en donnant au plateau une forme d'assiette, les porte-couteaux étant sur les bords relevés.

Modèle à commande supérieure. — Cette disposition laisse une place pour l'installation des entonnoirs qui conduisent les cossettes dans les diffuseurs en batteries circulaires.

Modèle à crapaudine. — Comme la crapaudine doit supporter,

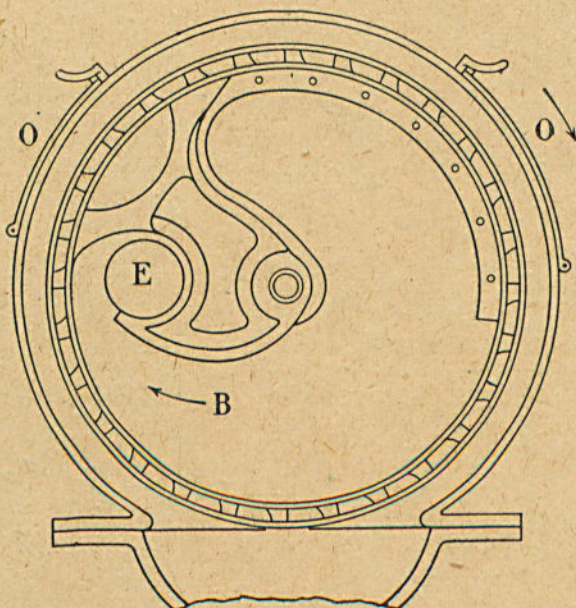


Fig. 22. — Coupe-racines à tambour rotatif de Maguin (Coupe).

outre le poids des parties tournantes, celui des betteraves il est nécessaire de placer des supports, gênants pour la libre chute des cossettes.

Modèle à arbre suspendu. — Cette disposition a pour but d'éviter l'échauffement résultant d'une forte pression sur la crapaudine. La vitesse de rotation des plateaux coupe-racines est en raison inverse du diamètre afin de leur donner une vitesse tangentielle que la pratique a montré devoir se maintenir aux environs de 4 mètres par seconde.

Le tableau ci-dessous indique le nombre de tours à donner aux plateaux, suivant leur diamètre.

Diamètre	Nombre de tours
1.00	150
1.25	100
1.50	80
2.00	60
2.50	40

On peut compter sur une dépense de force motrice de 3 chevaux par 100 tonnes de betteraves râpées en 24 heures.

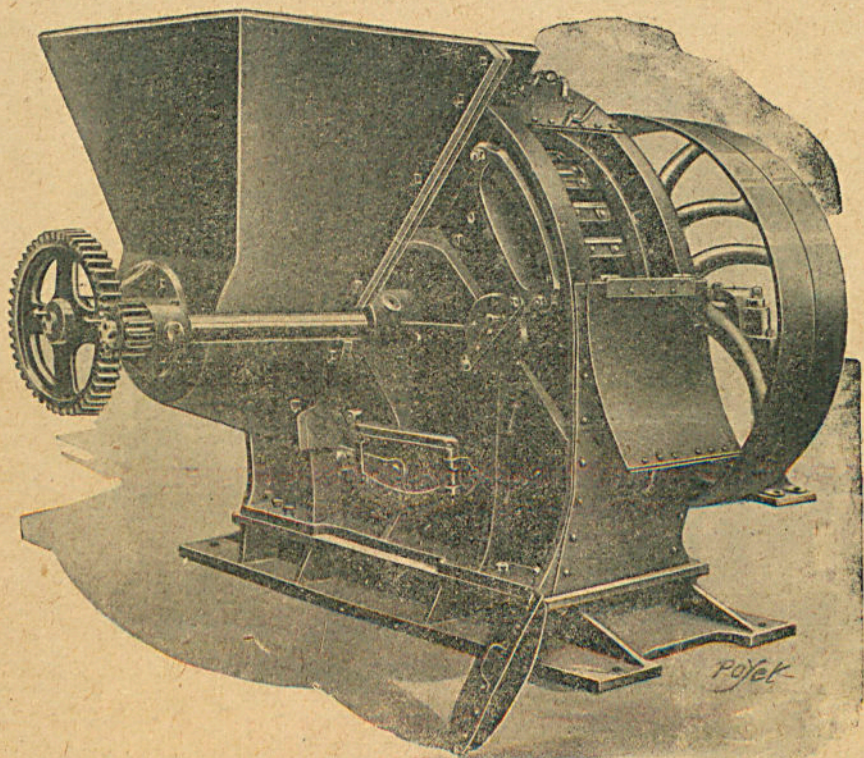


Fig. 23. — Coupe-racines tambour rotatif Maguin (Établissements Maguin).
Vue d'ensemble.

Coupe-racines à tambour rotatif Maguin.

C'est un modèle fort répandu (fig. 20, 21 et 22).

La betterave est amenée dans un tambour à axe horizontal, d'un diamètre de 1 m 200 et de 0, m 330 de hauteur. Vingt-quatre rangées de couteaux sont fixées sur la surface du tambour. La betterave est entraînée par le mouvement du tambour et s'engage

par le moyen d'une pièce appropriée au contact des couteaux où la force centrifuge l'applique sans que la trémie doive être pleine.

Coupe-racines à tambour fixe centrifuge Rossmuss. — Le tambour est à axe vertical et, suivant ses génératrices, sont placées les lames. A l'intérieur se trouve un moyeu conique portant des contre-lames et d'une forme telle que les betteraves qui y sont amenées par une trémie sont obligées de se présenter au contact des couteaux suivant leurs génératrices. Ces appareils ont l'inconvénient de donner des cossettes trop petites quand la vitesse est grande. Si on réduit la vitesse l'appareil *bourre* car la force centrifuge devient insuffisante.

Couteaux de diffusion.

Les couteaux de diffusion sont fixés sur des porte-couteaux de modèles assez divers qui sont eux-mêmes le plus souvent en acier ;

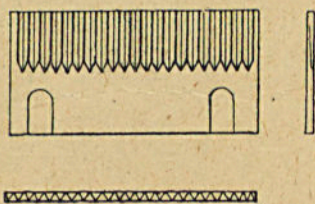


Fig. 24. — Couteau de diffusion.

ils permettent une position variable des couteaux pour utiliser ceux qui sont inégalement usés. En regard du couteau on fixe une contre-lame dont la position se règle au moyen de vis pour pouvoir faire varier à la fois l'inclinaison de cette contre-plaque et la distance du couteau.

On fait aussi des porte-couteaux doubles destinés à recevoir chacun deux couteaux de types différents, qui attaquent successivement la betterave.

Formes diverses des Couteaux de diffusion. Les principaux types de couteaux de diffusion employés sont les suivants :

Couteaux faitières. — Ils sont formés par des plaques fraisées en ondulations formant un angle droit et qui portent des arêtes mitoyennes. L'épaisseur du métal varie de 7 à 9 mm ; la longueur est de 140 à 190 mm et la largeur de 70 à 90 ; la partie cloisonnée mesure 25 à 45 mm. On les utilise jusqu'à ce que cette partie soit réduite au plus de 15 à 25 mm (fig. 24).

Couteau Kaenigsfeld. — Ce couteau comporte des faites formant un angle de 60°. Il est d'un emploi de plus en plus généralisé. On peut l'employer seul pour la production exclusive de cossettes faitières mais généralement, on combine son emploi avec celui d'un couteau produisant des cossettes triangulaires.

Les couteaux Kœnigsfeld sont préférés aux couteaux faitières en raison de leur affûtage plus facile.

Couteaux Goller. — Ce type est obtenu par estampage d'une lame d'acier et non par fraisage. Comme ils sont entièrement ondulés ils exigent des porte-couteaux spéciaux. Il sont moins coûteux que les Kœnigsfeld et d'un affûtage

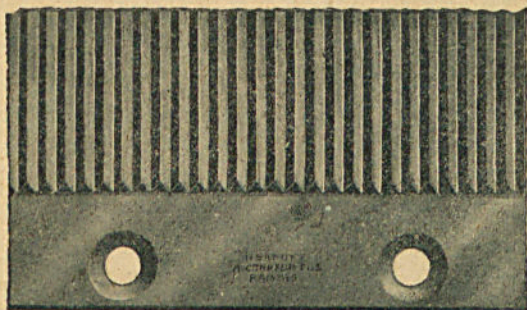


Fig. 25. — Couteau faitière (Cliché Sahut-Conreur).

facile. Il est nécessaire que les porte-couteaux soient bien ajustés pour éviter, avec ce type de couteaux, la formation abondante de fine râpüre.

Couteaux faitières à doigts. — On emploie exceptionnellement pour le travail des betteraves gelées des couteaux dont les faitages au lieu d'être contigus sont séparés les uns des autres comme les doigts de la main. Ils sont naturellement plus coûteux et s'usent davantage ; il est vrai qu'ils sont, par contre, d'un affûtage plus facile (fig. 25 bis).

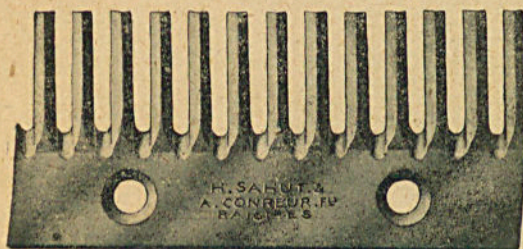


Fig. 25 bis. — Couteau à doigts pour betteraves gelées. (Cliché Sahut-Conreur).

Contrôle de travail des coupe-racines. — Le praticien peut toujours apprécier la qualité des cossettes produites. Il est cependant important de pouvoir déterminer, par un contrôle échappant à des appréciations différentes suivant les intéressés,

quelle est la qualité réelle des cossettes. C'est une vérification, pour ainsi dire automatique, du travail si important de l'affûtage des couteaux. Deux méthodes peuvent être employées pour ce contrôle : 1^o pesée du mètre courant de cossettes ; 2^o détermination du poids

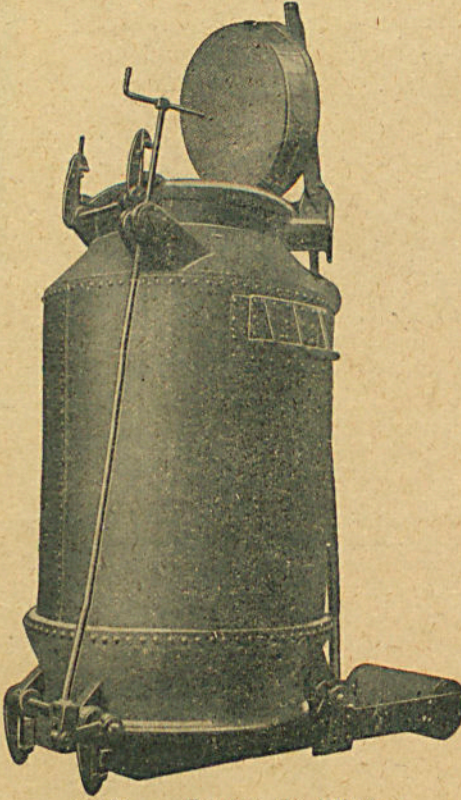


Fig.26. — Couteau de diffusion.
(Établissements Maguin).

dont l'épuisement sera très incomplet.

Un pourcentage de plus de 5 % de râpures est inadmissible. Il révèle un mauvais réglage des porte-couteaux.

Les Diffuseurs.

L'extraction du sucre de la betterave par diffusion, en application des principes théoriques simples que nous avons résumés précédemment, est un bel exemple de problème industriel dont la solution est complexe, et se réalise par un ensemble de conditions con-

moyen de cossettes. On complète cette détermination par un tamisage d'un poids donné de cossettes, par exemple un kilogramme, sur des tamis de grosseur différentes. On sépare ainsi : ce qui passe dans un tamis de 3 mm et constitue de la râpures très nuisible à la bonne marche de la diffusion parce qu'elle tend à remplir les intervalles entre les cossettes et à ralentir la circulation dans le diffuseur. Toutes les cossettes normales doivent passer au tamis de 10 mm. Ce qui reste au-dessus est constitué par des morceaux ayant échappé à un découpage régulier et

tradiatoires dont il faut trouver, pour chaque cas particulier, un heureux équilibre. Il faut en effet diffuser le plus possible de sucre et le moins possible d'autres substances ; épuiser complètement, et user peu d'eau.

Les diffuseurs sont des vases en forte tôle de forme cylindrique ou d'une très faible conicité (fig. 25). La calandre cylindrique est ter-

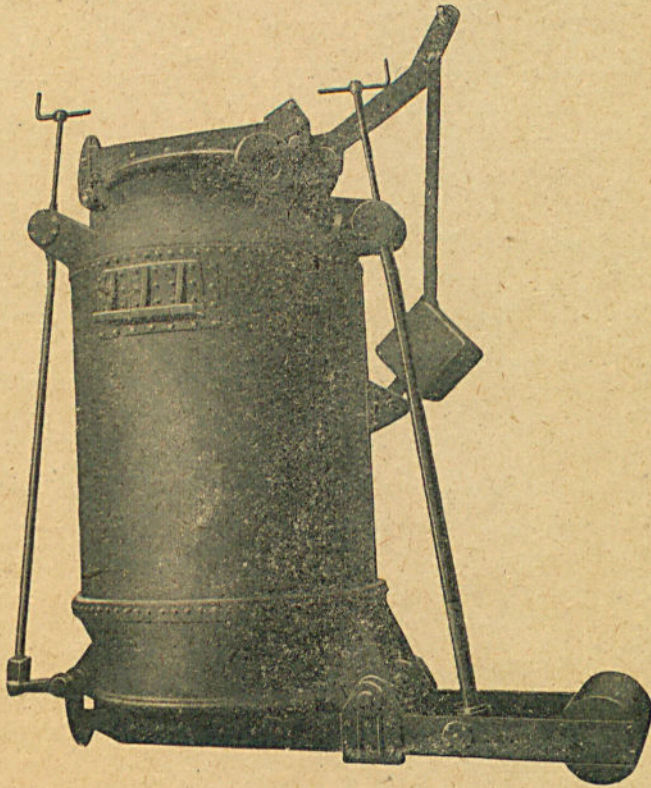


Fig. 27. — Diffuseur à manœuvre par le haut. (Etablissements Maguin).

minée par deux calottes tronconiques en fonte. Une porte, en haut, est ménagée pour l'introduction des cossettes et une porte en bas pour la vidange des cossettes épuisées.

Ils sont réunis les uns aux autres et forment un ensemble appelé *batterie de diffusion*.

Dans le principe, les diffuseurs étaient placés en cercle avec un coupe-racines au centre, distribuant les betteraves alternative-

ment dans chacun des récipients à l'aide d'une goulotte. Le nombre des diffuseurs était généralement de 14 et leur capacité de 20 hectolitres par appareil (Batterie Cail) ou de 12 diffuseurs de 22 hectolitres. Cette disposition était considérée comme parfaite au point de vue de la surveillance de la diffusion et de la simplicité de la manœuvre.

Depuis on a adopté des dispositions très variables : les diffuseurs ont été placés sur une seule ligne ou sur deux lignes. Leur nombre varie depuis 6 jusqu'à 16. Quant à leur capacité, elle va de vingt à cent hectolitres. C'est assez exactement à égale distance de ces extrêmes qu'on se tient généralement dans la pratique.

On cite comme maximum de capacité, une diffusion constituée par des vases de 115 hect.

Dans l'usine type de 500 tonnes il y a habituellement des diffuseurs de 50 hectolitres, au nombre de 14, et leurs dimensions sont les suivantes : diamètre 1 m, 70, hauteur 2 m, 60.

Une usine de 400 tonnes a des diffuseurs de 40 hectolitres, au nombre de 12, d'un diamètre de 1 m, 60 et d'une hauteur de 2 m, 18.

Les conditions de marche de la batterie de diffusion varient suivant les dimensions des diffuseurs. Il est évident, que les diffuseurs communiquant entre eux, le jus doit vaincre la résistance totale formée par la somme des colonnes de cossettes. Les grands diffuseurs exigent des cossettes mieux formées, plus régulières et plus grosses, sous peine d'obtenir de moins bons épaissements. Il faut noter que dans les diffuseurs ayant une grande hauteur, les cossettes sont plus tassées par leur propre poids : avantage, en ce sens que les espaces nuisibles constitués par les intervalles entre les cossettes sont diminuées, inconvénient, en ce sens que la résistance à la circulation du jus s'en trouve augmentée.

La somme des hauteurs de cossettes, dans les batteries généralement employées, forme de 25 à 30 mètres.

Caloristateurs. — Dans la batterie de diffusion le jus circule d'un diffuseur à un autre par une conduite partant de la partie inférieure de l'un pour arriver à la partie supérieure du suivant ; mais il faut réchauffer le jus dans ce trajet et on le fait passer pour cela dans des appareils appelés *caloristateurs* (fig. 26), dont le nombre est égal à celui des diffuseurs eux-mêmes. Ils sont, en principe, constitués par un cylindre d'un diamètre très supérieur à celui d'une simple

conduite, dans lequel est placé un serpentin qui reçoit de la vapeur pour échauffer le jus. On a remplacé le serpentin par un faisceau tubulaire en vue d'augmenter la surface de chauffe. Celle-ci doit en effet être considérable, surtout lorsqu'on emploie, comme on tend de plus en plus à le faire, pour le chauffage de la diffusion non de la vapeur directe, mais la vapeur provenant de l'évaporation.

La construction du calorisateur est délicate à cause des différences de température que subissent les tubes, ce qui tend à provoquer des fuites dans le sertissage des dits tubes, dans la plaque tubulaire. On remédie à cet inconvénient en remplaçant les tubes droits par des tubes cintrés dont la dilatation modifie la courbure sans se faire sentir dans la liaison avec les plaques tubulaires.

Quoi qu'il en soit il y a de ce côté une source de sérieux ennuis et dans des installations récentes faites par les constructeurs les plus réputés, les fabricants les ont éprouvés.

Les surfaces de chauffe des calorisateurs sont, pour les diffuseurs de 50 hectolitres dont nous avons parlé plus haut, de 7 m²; cependant on leur donne souvent une plus grande surface de chauffe, soit 0,2 m² par hectolitre de capacité de diffuseur; quand ils sont largement prévus, le chauffage est plus rapide et il y a possibilité d'utiliser une vapeur à température moins élevée.

On peut enfin supprimer le calorisateur ou plus exactement le réduire à une capacité cylindrique dans laquelle on injecte directement la vapeur dans le jus. Il en résulte évidemment une dilution du jus. Mais au total ce système est avantageux. En effet, il y a réduction notable de la surface de refroidissement, diminution

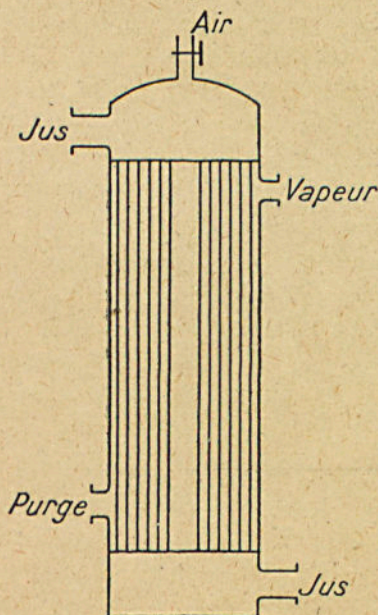


Fig. 28. — Schéma d'un calorisateur.

de la capacité de jus inutile, meilleure utilisation de la chaleur cédée et l'expérience montre que malgré l'introduction dans le jus d'eau supplémentaire on a, comme résultat final, des jus plus denses.

La batterie de diffusion classique (fig. 27) comprend un important système de tuyauterie dont voici l'énumération :

1^o Tuyauterie d'eau faisant communiquer tous les diffuseurs avec le bac en charge contenant l'eau.

2^o Tuyauterie conduisant le jus de chacun des diffuseurs au bac jaugeur.

3^o Tuyauterie générale faisant communiquer les diffuseurs de manière que chacun d'eux puisse être successivement de tête ou de queue.

4^o Tuyauterie reliant le bas du diffuseur au calorisateur suivant.

5^o Tuyauterie de vapeur pour le calorisateur.

6^o Tuyauterie pour la purge du calorisateur.

Il existe enfin, en plus, dans certains cas, une tuyauterie à vide.

Certaines installations comportent une double tuyauterie d'eau : une pour l'eau chaude, pour le meichage (voir page 110), et une d'eau froide utilisée pendant le soutirage ; l'intérêt de cette complication réside dans l'évacuation de cossettes plus froides.

Il est important de réduire autant qu'on peut le faire le volume total de la tuyauterie qui contient une quantité de jus inutilisée pour le travail d'épuisement, en sorte que cette capacité constitue un véritable espace nuisible.

En ce qui concerne la longueur il va sans dire qu'il faut, par une disposition aussi judicieuse que possible de l'ensemble des appareils, la réduire au minimum ; quant aux sections, leur réduction, — si elle implique, en même temps qu'une diminution de l'espace nuisible, une diminution du coût de l'installation, — entraîne par contre une diminution du débit d'où perte de temps. Il vaut donc mieux, surtout si on a affaire à une batterie présentant une grande résistance, exagérer quelque peu les sections des tuyauteries plutôt que les faire trop réduites.

Accessoires des diffuseurs.

Selon la complication de l'installation, chaque diffuseur comporte un certain nombre de soupapes, de 3 à 5.

Les soupapes sont séparées ou réunies dans une même boîte faisant corps avec le diffuseur, suivant les modes de construction.

Chaque diffuseur est, en outre, muni d'un robinet purgeur fixé et destiné à assurer l'évacuation de l'air ou des gaz, sur le couvercle aussi bien au moment de l'emplissage que pendant le cours de l'épuisement.

Thermomètres. — La température dans les diffuseurs, doit être réglée très exactement ; aussi, chaque vase doit être muni d'un thermomètre. Les thermomètres à mercure sont plus recommandables que tous autres.

Manomètres. — Chaque diffuseur doit être muni d'un manomètre branché sur la tuyauterie d'arrivée du jus, il sert à indiquer si la circulation est bien établie sur chacun d'eux. Ses indications renseignent sur l'état du tassement des cossettes dans le diffuseur.

Calorifugeage. — Enfin, il est utile de munir les diffuseurs d'une enveloppe isolante pour éviter la déperdition de chaleur. C'est d'ailleurs une précaution trop souvent négligée.

La Batterie de diffusion.

La disposition générale des diffuseurs reliés entre eux et formant l'ensemble désigné sous le nom de *batterie de diffusion* présente divers types que nous indiquons ci-dessous.

La disposition qu'on rencontre le plus communément dans les anciennes sucreries françaises est la *batterie circulaire*. Les diffuseurs sont placés en cercle autour du coupe-racines. Celui-ci est naturellement placé à un niveau plus élevé que la partie supérieure des diffuseurs. L'alimentation en cossettes des diffuseurs se fait par une nochière tournante inclinée, qui est amenée successivement au-dessus de l'ouverture de chaque vase. Il y a donc un inconvénient, au point de vue de l'installation, qui exige un bâtiment plus élevé et des appareils pour monter les betteraves à une plus grande hauteur. Quant à la dépense correspondante à l'élévation de la betterave à un niveau plus haut, elle se compense par une simplicité de manœuvre et surtout par une grande facilité de surveillance puisque toutes les soupapes de commande des tuyauteries, des jus, de l'eau, de vapeur, etc., sont réunies sur un même plancher dans un espace très réduit.

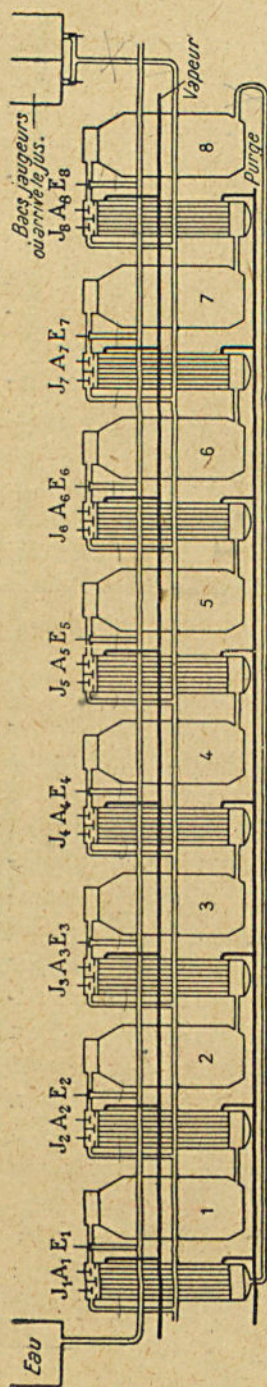


Fig. 29. — Schéma de la batterie de diffusion.

On munit aujourd'hui les noyères tournantes d'un roulement à billes qui en facilite la manœuvre, ce qui est fort important au point de vue du gain de temps.

La batterie en ligne fut plus en faveur en Allemagne au début de la sucrerie. Elle se généralise en France. Les diffuseurs sont placés sur une seule ligne ou sur deux lignes parallèles. La tuyauterie générale d'eau longe la batterie avec une communication pour chaque diffuseur, munie d'une soupape ; la conduite de jus qui est habituellement placée sous le plancher, communique avec la partie supérieure de chaque diffuseur par la soupape à jus.

On a recours à la batterie en deux lignes, parce qu'elle économise la place, et rend plus aisée la surveillance de l'emplissage des diffuseurs.

Marche de la batterie de diffusion.

Quelles que soient les variations de marche des batteries de diffusion, suivant les installations et la nature des cossettes travaillées, les règles générales peuvent se résumer ainsi :

Le jus circule de haut en bas dans les diffuseurs, sauf celui qui vient d'être chargé. Celui-ci en effet est rempli de jus de bas en haut pour que l'air puisse être chassé. Cette opération est dite *meichage* ; ce mot qui vient du mot allemand *meischen* (mélanger) est passé dans le langage

courant d'usine, depuis l'introduction de la diffusion, et l'on dit *meicher* un diffuseur. Il est indispensable de chasser ainsi l'air, qui resterait emprisonné au contact de la cossette et empêcherait l'action de l'eau.

Il est essentiel d'obtenir une circulation aussi active qu'on peut la réaliser de façon que le jus reste en travail le moins long-

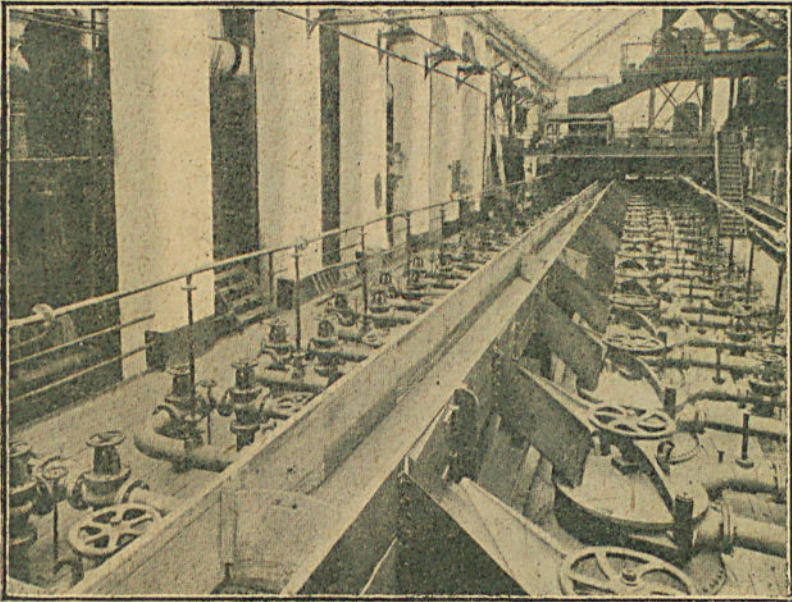


Fig. 30. — Alimentation de la diffusion en cossettes par transporteur à courroie.

temps possible. Il faut de même amener toute la masse à une température s'approchant autant que possible de celle qui ne doit pas être dépassée sans inconvénient. Plus la betterave est saine, mieux elle supporte la chaleur. En tous cas 90° est une température qui ne doit jamais être atteinte et cette température maxima s'abaisse à 75° , quand les betteraves ont gelé. Nous verrons que des artifices sont employés pour activer la circulation, ce qui est le point capital pour assurer de bons épaissements avec un travail rapide. Dans beaucoup d'installations on a de la difficulté à atteindre la température que peut supporter la betterave.

On appelle *diffuseur de tête* celui qui reçoit les cossettes fraîches et *diffuseur de queue* celui qui est le plus anciennement chargé et reçoit l'eau.

Le jus circule de bas en haut dans les calorisateurs mais il y a exceptionnellement renversement de ce sens dans le calorisateur du diffuseur en meichage.

Il y a toujours deux diffuseurs hors de circulation.

Mise en route. — Quand on met en route la batterie de diffusion, il convient, avant d'introduire les cossettes dans celui des diffuseurs dont on veut faire le diffuseur de tête, de remplir un certain nombre de diffuseurs avec de l'eau chaude (généralement 6). On commencera donc par introduire l'eau dans le diffuseur 6 en la faisant arriver par le bas. On laissera ouvert le couvercle de ce diffuseur, pendant la plus grande partie de l'emplissage ; à la fin, on placera ce couvercle en laissant ouvert le robinet nécessaire à l'échappement de l'air qui permettra aussi de voir quand le diffuseur sera plein. Quand l'eau sortant par ce robinet montrera que l'emplissage est effectué, on procédera de même successivement à l'emplissage des autres diffuseurs. Pendant l'emplissage, on a procédé au chauffage, en ouvrant d'abord le purgeur puis admettant la vapeur dans le calorisateur.

Dès que le premier diffuseur est rempli on rétablit le sens normal de la circulation.

On arrive à ce résultat en effectuant la manœuvre suivante : soit à opérer le rétablissement du sens normal dans le diffuseur 6 ; on ferme la soupape à jus du diffuseur 5 et on ouvre la soupape du calorisateur 5 ; l'eau qui remonte du calorisateur 5 entre par cette soupape dans le haut du diffuseur 6 établit une pression de haut en bas dans ce récipient et fait remonter l'eau dans ce sens pour la faire passer à travers le calorisateur suivant et de là dans la conduite à jus.

On réduit les ouvertures de soupapes d'arrivée d'eau pour que la température s'élève rapidement et que, lorsque les 6 diffuseurs seront pleins le dernier atteigne 85°. C'est à ce moment qu'on met le coupe-racines en marche et qu'on emplie le diffuseur 1. Quand il est plein on le meiche. Puis on remplit le diffuseur 2 de cossettes, puis les suivants, et on emplie chacun d'eux comme on a fait précédemment c'est-à-dire en les meichant d'abord, renversant ensuite

le sens du courant. On va lentement pour échauffer les cossettes qui sont froides ; mais tous les diffuseurs de numéro antérieur au numéro 6 ont été remplis avec un liquide qui n'est pas de l'eau ; on vidange le diffuseur 7, puis 6 ; on fait un premier soutirage au diffuseur 5 c'est-à-dire qu'on envoie son contenu au bac jaugeur. On commence toutefois par de faibles soutirages. Pour cela, quand

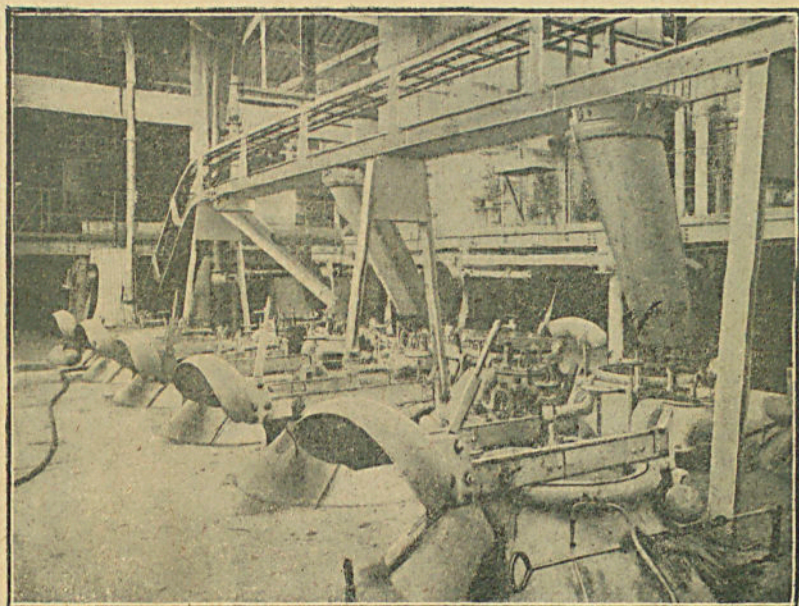


Fig. 31. — La Batterie de diffusion à la Sucrierie d'Artres (Nord).

le meichage de ce diffuseur est terminé on renverse le courant comme précédemment, mais au lieu d'ouvrir la soupape du jus du diffuseur 6 on ouvre la soupape du bac jaugeur. C'est quand la quantité de jus qu'on voulait soutirer est écoulee qu'on ferme la soupape du bac jaugeur et qu'on ouvre la soupape de jus du diffuseur 6 pour meicher ce diffuseur. On a dû, si les soupapes d'eau ont été convenablement réglées selon la puissance de chauffage des calorisateurs, arriver à 75° dès qu'on a meiché le n° 6.

Les soutirages commencés modérément au diffuseur 5 ont été en augmentant jusqu'au diffuseur 10, où on arrive à un soutirage

normal. Le régime est établi quand ce diffuseur est rempli de cossettes et meiché. Le diffuseur 11 est en vidange et le diffuseur 12 rempli à nouveau.

Quand on arrête la batterie de diffusion pour peu de temps, quelques heures par exemple, on peut laisser le jus dans les diffuseurs.

Quand on arrête pour un temps plus long ou définitivement on procède à la *liquidation*, qui consiste à vider complètement la batterie, jus et pulpes.

Pour cela après l'emplissage du dernier diffuseur on ferme la vapeur, puis, ce dernier diffuseur étant meiché, on y pratique des soutirages en ouvrant modérément la soupape. Le plus ancien diffuseur empli est alors vidé puis isolé de la batterie. Après nettoyage il est à moitié rempli d'eau dans laquelle on verse par le couvercle du lait de chaux. A mesure qu'on vide un diffuseur, on agit de même, de manière que le jus de diffusion soutiré ait une densité de plus en plus faible. Il faut en effet que ce soit bien de l'eau non sucrée qu'on évacue des derniers diffuseurs.

Quand les cossettes contenues dans les diffuseurs sont épuisées, c'est-à-dire quand elles ont cédé tout le sucre qu'elles contenaient aux dernières eaux qu'on y a fait passer, elles sont appelées *pulpes* et sont évacuées par la partie inférieure des diffuseurs.

Les pertes de calorique par les résidus de diffusion constituent une dépense notable et il n'est pas indifférent au point de vue économique d'effectuer l'évacuation de ces résidus à une température ou à une autre. Si on compte en effet que 100 kilogs de betteraves donnent environ 200 kilogs de pulpes et de petites eaux, si ces résidus sortent à 15° ils représentent 3.000 calories et si ils sortent à 30° ils représentent 6.000 calories soit une différence de 3.000 calories qui traduites en vapeur consommée, représentent 5 k.5 de vapeur.

Donc il faut conduire la batterie de manière telle que les derniers diffuseurs soient bien refroidis.

Dans les paragraphes suivants nous examinerons l'influence des divers facteurs sur la marche de la diffusion.

Pression. — Pour vaincre la résistance opposée au passage du liquide par la cossette, on peut être tenté d'augmenter la pression de l'eau qu'on fait agir sur le dernier diffuseur. Mais il ne

faut pas oublier que la vitesse d'un courant ne croît que comme la racine carrée de la pression. Il faut surtout observer que la pression a tendance à appliquer fortement les cossettes sur le fond : il faut donc éviter d'augmenter cette pression surtout dans les cas

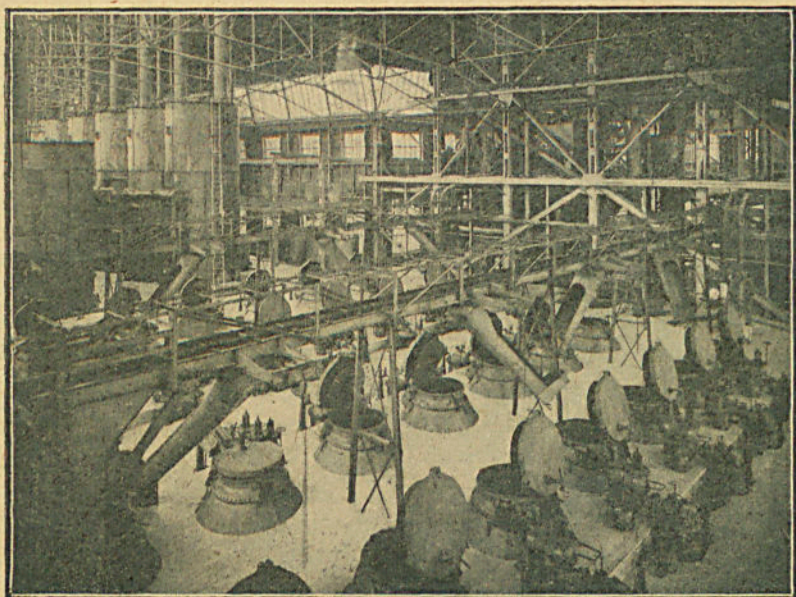


Fig. 32. — Vue d'ensemble de la diffusion à la sucrerie d'Eppeville.

où il semblerait qu'on eût intérêt à le faire, c'est-à-dire lorsqu'on a affaire à des betteraves molles et à des cossettes fines.

C'est un des avantages des systèmes de diffusion à circulation forcée dont nous parlerons plus loin, d'utiliser une pression de bas en haut et ainsi de diminuer cette tendance des cossettes à se coller sur la toile du fond du diffuseur et à en obturer les interstices.

Il ne convient pas de donner une différence de hauteur de plus de 10 m. entre le réservoir d'alimentation en eau et le bac qui reçoit les jus de diffusion ou bac jaugeur.

Dans certaines installations, on dispose une bêche à eau d'une assez grande hauteur et l'on y adapte des soupapes à différents niveaux pour provoquer l'écoulement de l'eau à diverses pressions.

Bien entendu la pression varie suivant la hauteur des diffuseurs. La diminution de la contre-pression obtenue parfois par l'emploi d'une pompe aspirante entre les diffuseurs et le bac jaugeur n'offre que de minces avantages et peut être nuisible.

On remplace parfois la pression hydrostatique par une pompe centrifuge refoulant l'eau directement dans la batterie. On a ainsi une pression plus aisément réglable et qui permet d'éviter les coups de bélier produisant des collages des cossettes.

La pompe est bien entendu munie d'un ballon et on munit ce ballon d'une soupape qu'on peut régler.

Emploi de l'air comprimé. — On peut employer l'air comprimé pour chasser l'eau qui se trouve en excès dans le dernier diffuseur et la faire passer dans le diffuseur suivant ; il en résulte une économie d'eau dans la marche de la diffusion sans aucun avantage d'autre part, au point de vue de la marche de l'opération, et sans obtention de meilleurs épaissements.

L'économie d'eau ne s'obtient d'ailleurs qu'au prix d'une complication dans la manœuvre et surtout par l'emploi d'une installation coûteuse. Il faut en effet installer un compresseur d'air, avec tous ses organes accessoires, et un ballon formant régulateur de pression, dont la capacité soit environ double de celle du diffuseur. Car il est indispensable d'avoir une pression très régulière pendant le travail.

L'emploi de l'air comprimé présente l'avantage de supprimer les eaux des fosses.

Charge des diffuseurs.

On n'a jamais à craindre de trop tasser les cossettes dans les diffuseurs. Les difficultés de circulation des jus ne proviennent jamais d'une quantité exagérée de betteraves, mais bien plutôt d'un tassement inégal ou d'une qualité anormale des betteraves donnant des pulpes molles. Dans le cas où, par suite de la nature des cossettes, les vides sont en trop faible proportion et ne laissent pas assez de place pour le jus, ce n'est pas en mettant moins de cossettes, mais plutôt en les faisant moins fines et surtout en évitant la râpüre, qu'on obtiendra un meilleur résultat.

La densité de la cossette est d'environ 1,05 ; elle flotte dans

un jus de densité supérieure à ce chiffre, et, dans l'eau, tombe au fond. Quand on ouvre un diffuseur qu'on vient de meicher, son jus ayant une densité supérieure au chiffre ci-dessus fait surnager la cossette et le diffuseur paraît plein, à mesure que le jus du diffuseur se rapproche de l'eau, on voit le liquide surnager sur une hauteur qui représente $1/4$ de la hauteur totale, plus si le diffuseur a un diamètre réduit par rapport à sa hauteur.

On ne peut généralement pas charger plus de 52 kilos de cossettes par hectolitre de capacité de diffuseur, dans les petits diffuseurs de 20 Hl et on arrive à 60 dans les grands. Si on prend 55 kilos comme moyenne, on voit, d'après ce que nous avons indiqué pour le chiffre de densité de la cossette que le volume occupé par ce poids est de $1,05 = 52,4$ litres par hectolitre ; la place disponible pour la circulation des liquides d'épuisement est donc $100 - 52,4 = 47,6$.

Durée. — La durée de la diffusion doit être réglée d'après l'épuisement des cossettes épaisses. Celles-ci contiennent en effet encore une notable proportion de sucre alors que les cossettes minces ont déjà perdu le leur et que l'action du jus a pour effet de solubiliser des éléments de la matière constituante des tissus de la betterave qui forment les impuretés du jus. Cette considération montre bien la grande importance de l'obtention des cossettes aussi régulières que possible.

La durée de chaque opération est variable dans des limites assez sensibles d'une usine à l'autre, suivant le genre d'installation c'est-à-dire suivant qu'on a affaire à des longues batteries de douze à quatorze diffuseurs de 20 à 30 hectolitres — auquel cas elle est de une heure à une heure et quart — ou à des longues batteries du même nombre de grands diffuseurs — et la durée peut alors atteindre une heure trois quarts. La durée est intermédiaire dans le cas des batteries d'un petit nombre (six à huit) de grands diffuseurs.

Limite de l'épuisement.

Il va sans dire qu'il faut retirer le plus possible du sucre obtenu dans les cossettes. Cependant il faut tenir compte du prix d'extraction et il est certain que si on voulait pousser l'épuisement

très loin, les dernières portions de sucre coûteraient trop cher puisque c'est avec un jus trop dilué qu'on l'obtiendrait et aussi avec une diminution de la pureté de ce jus.

Il importe de faire un contrôle très sérieux de l'épuisement des cossettes, non seulement de celles qui proviennent de l'ensemble du travail mais encore des cossettes qui se trouvent dans les différentes parties des diffuseurs : on a parfois ainsi l'occasion de constater que pour des épaissements peu poussés certaines parties contiennent encore des quantités de sucre extrêmement élevées. Il est donc surtout nécessaire de pousser l'épuisement loin lorsque la forme des diffuseurs est telle que certaines parties, par suite d'une mauvaise circulation, ont une tendance à échapper à un bon épaisseur, sous peine d'avoir des pertes totales inadmissibles.

C'est surtout à notre époque où le prix du combustible est si élevé qu'il importe tout en obtenant de bons épaissements d'avoir des jus concentrés. Il ne faut pas autant que possible s'éloigner de 100 litres de jus pour 100 kilos de betteraves. Tous les moyens possibles doivent être employés pour y arriver et on ne saurait apporter trop de soins à l'installation judicieuse de la batterie et à sa conduite régulière, assurée par un contrôle constant. Ce contrôle, d'ailleurs, doit porter non seulement sur l'épuisement des cossettes et la concentration du jus mais encore sur la pureté de celui-ci.

Contrôle de la diffusion.

Il est nécessaire de procéder à un contrôle *effectif* des épaissements c'est-à-dire fait sur des échantillons soigneusement pris, représentant *réellement* des moyennes et analysées avec le seul souci de connaître la vérité.

Il faut une vigilance soutenue pour obtenir du personnel de réduire, par un effort constant, la durée des opérations au minimum. Le meichage et le soutirage doivent s'effectuer ensemble en 6 minutes de manière à faire au total 10 diffuseurs à l'heure pour constituer une marche normale. On peut réduire ce temps à 5 minutes à condition d'avoir une batterie de 16 diffuseurs sans quoi l'épuisement ne pourrait être réalisé. Il faut bien entendu veiller à ce que

L'emplissage d'un diffuseur soit commencé aussitôt qu'est terminée sa vidange.

Il arrive souvent que des usines ont une diffusion insuffisante parce qu'on a pu augmenter la capacité de production de l'ensemble du matériel par adjonction d'éléments nouveaux sans modifier la diffusion ; le moindre moment d'inutilisation du matériel se traduit par une diminution très importante de production ou par une insuffisance d'épuisement des cossettes. Or la diminution de production c'est l'augmentation de la perte de sucre dans les betteraves emmagasinées.

Capacité de production des diffuseurs.

Si nous admettons que le tassage soit tel qu'il y ait en moyenne 55 kilos de cossettes par hectolitre de diffuseur et que les diffuseurs soient remplis en un temps tel qu'il y ait 200 diffuseurs remplis par 24 heures (ce qui fait 6 minutes pour une journée réduite à 20 heures), la capacité de production par hectolitre de capacité utile du diffuseur sera $55 \text{ k} \times 200 = 11.000$ kilos de betteraves.

Nous avons vu que la possibilité de tasser est plus grande avec les grands diffuseurs qu'avec les petits ; il y a donc une augmentation de production par unité de volume de diffuseur dans les batteries composées de grands vases. Enfin dans les batteries contenant un grand nombre de diffuseurs il est possible d'augmenter la vitesse de circulation et ainsi faire travailler plus de cossettes avec de bons épuisements ; cette dernière considération, jointe au fait que l'emplissage des petits diffuseurs est plus rapide et que l'ensemble des manœuvres donne lieu à moins de pertes de temps, est cause que, dans l'ensemble, on a une augmentation de production par hectolitre de capacité de diffuseur, dans les batteries composées d'un grand nombre de petits diffuseurs par rapport aux batteries composées d'un petit nombre de grands.

Mais il y a un trop grand nombre de facteurs qui interviennent pour que des chiffres précis soient indiqués, pour fixer la capacité de production d'une batterie de diffusion de dimensions données. Certains de ces éléments comme la résistance de la tuyauterie, la vitesse d'alimentation en cossettes pendant l'emplissage, la pression de l'eau, dépendent de chaque installation.

D'autres sont sous la dépendance de la nature des betteraves et de leur état de conservation : facilité de diffusion, résistance à la circulation due aux dimensions, à la régularité, à l'état des cossettes. D'autres enfin sont dues à la conduite du travail : degré d'épuisement, chauffage. Enfin, comme nous le verrons plus loin la marche classique peut être remplacée par des méthodes diverses qui peuvent modifier le rendement de l'installation.

Voici les capacités de diffuseurs d'un certain nombre de sucreries avec les capacités de production de ces usines; on voit ainsi dans quelles limites varient ces données.

Usine.	Nombre de diffuseurs.	Capacité de chaque diffuseur.	Capacité totale.	Production journalière de l'usine en tonnes.	Production journalière par hectolitre de capacité de diffuseur en kilos.
N° 1	14	50	700	600	875
— 2	18	37,5	675	450	660
— 3	16	50	800	400	500
— 4	14	31	434	400	920
— 5	14	29	378	400	1060
— 6	26	35	600	400	600
— 7	12	16	192	150	620

Mais bien entendu ces chiffres ne sont pas absolus et si les autres postes de l'usine le permettent, il est possible par une marche particulièrement intensive de la diffusion, de réaliser avec une batterie donnée une augmentation sensible de la production. Au total, il y a surtout, en ce qui concerne une installation de diffusion donnée, la manière de s'en servir.

Soutirage du jus de diffusion.

Etant donné que la quantité du jus contenu dans une betterave est 94 à 95 % de cette betterave on peut, connaissant la densité de ce jus, déterminer le minimum de jus qu'on en peut théoriquement retirer à la diffusion. Ce jus en effet ne peut avoir une concentration supérieure à celle du jus dans la betterave ; on ne peut en effet par la diffusion qu'ajouter de l'eau et non en retirer. Or le volume total de jus de densité d est compris entre $\frac{d \times 100}{94}$ et $\frac{d \times 100}{95}$

Nous aurons ainsi le nombre de litres de jus à soutirer au dessous duquel il est impossible de descendre.

En supposant que la densité du jus soit 1.080 cette quantité théorique est comprise entre 87 et 88 litres.

En pratique le chiffre de soutirage varie entre 115 et 90 litres

par cent kilos de betteraves, ce dernier chiffre étant d'ailleurs fort rarement atteint.

Si on connaît la densité du jus dans la betterave (jus extrait par la pression) et la densité du jus obtenu par diffusion pour un travail donné on peut aisément caculer le volume de ce jus de diffusion pour 100 kilos de betteraves. Ce dernier volume est égal en effet au volume de jus existant dans la betterave augmenté du volume de l'eau ajoutée. Pour amener un volume de liquide de la densité D à la densité plus faible d il faut ajouter un volume d'eau V tel qu'on ait

$$D + v = (100 + v) d$$

d'où on déduit
$$v = \frac{100 (D - d)}{d - 1}$$

et le volume nouveau V sera :

$$V = 100 + v = 100 + \frac{100 (D - d)}{d - 1}$$

Le volume de jus dans la betterave, en supposant, qu'elle contienne 95 % de jus sera $\frac{95}{D}$ pour 100 kilos de betteraves soit 88 l. et le volume de ce jus ramené à la densité d , sera

$$V = 88 \left(100 + \frac{100 (D - d)}{d - 1} \right)$$

Si nous partons d'une betterave dont le jus a une densité de 1.080 et que nous fassions un épuisement tel que la densité du jus de diffusion soit, 1,064 le volume du soutirage par 100 kilogs de betteraves sera $88 \left(100 + \frac{100 (1,080 - 1,064)}{(1,064 - 1)} \right) = 110$

L'augmentation du volume du soutirage est considérée par beaucoup de praticiens comme une condition plutôt favorable, étant bien entendu qu'on ne dépasse pas la limite compatible avec une consommation raisonnable de combustible.

Sans doute à une plus grande quantité d'eau à évaporer correspond, toutes choses égales, plus de charbon dépensé. Mais nous verrons plus loin combien est complexe le problème de la transmission de la chaleur ; ce n'est pas seulement une question de transmission de calories à travers une paroi métallique selon des lois théoriques simples. La nature du liquide à évaporer joue un rôle important ; sa tension superficielle, sa viscosité sont des facteurs

qui ne sont pas négligeables ; or les jus obtenus avec des diffusions rapides, pas trop denses, avec un épuisement pas trop poussé se comportent mieux à la carbonatation et se filtrent plus aisément. Ils donnent finalement un produit moins visqueux et qui, plus mobile, offre moins de résistance à la transmission de la chaleur. Or étant donné la nécessité de réchauffer ces jus plusieurs fois puis enfin de les évaporer cette considération est fort importante.

Le rôle de la qualité de l'eau dans la diffusion.

La pureté de l'eau employée dans la diffusion a une grande importance. Il est évident que les impuretés que l'eau primitive contient sont retrouvées dans les jus et en diminuent la pureté. Malheureusement les fabriques ne disposent pas toujours d'une eau suffisamment pure. Il importe que le degré hydrotimétrique ne dépasse pas 25° et soit plus faible même, si l'eau contient des sulfates.

L'eau impure présente encore l'inconvénient de produire des dépôts dans les appareils d'évaporation.

Ce sont surtout les impuretés autres que la chaux à l'état de carbonate, et surtout la silice, qui présentent de sérieux inconvénients.

Enfin l'eau impure a le grave inconvénient d'amener avec elle des microorganismes ; l'action se fait sentir à la diffusion en provoquant des dégagements gazeux dont nous avons plus haut fait ressortir l'inconvénient ; d'ailleurs des pertes de sucre, qui peuvent être notables, accompagnent nécessairement ces fermentations.

C'est le plus sérieux argument contre l'emploi de l'eau de vidange qu'on reprend à la sortie du dernier diffuseur et qu'on utilise comme eau de pression sur le diffuseur précédent. Ce procédé de travail est dit « marche à l'eau sale ». Théoriquement l'eau sale ne rentre pas dans le jus et sert seulement à déplacer les dernières eaux qui vont s'y ajouter. En pratique il y a toujours mélange et introduction d'eau sale dans les jus.

Le réemploi des eaux de vidange des diffuseurs (et aussi des eaux de presse à pulpes dont nous parlerons plus loin) a encore le grand inconvénient de rendre très mauvaise la conservation des

pulpes en silos. Aussi c'est seulement quand on dessèche les pulpes qu'on peut y avoir recours. C'est ce qui fait qu'en Allemagne ce réemploi des eaux peut se faire tandis qu'on n'y a pas recours en France, où, comme nous le verrons plus loin la dessiccation des pulpes n'est pour ainsi dire pas pratiquée.

Quantité d'eau employée à la diffusion.

Il est difficile de calculer exactement la quantité d'eau employée à la diffusion : il faut en effet une quantité d'eau assez variable pour assurer la vidange et surtout le rinçage du diffuseur suivant sa forme.

On observe généralement une dépense qui est en chiffres ronds de 2.500 litres par tonne de betteraves par le procédé ordinaire de diffusion.

On réduit beaucoup cette quantité quand on emploie l'air comprimé pour la vidange des diffuseurs ; la diminution est d'environ moitié. Mais c'est là une solution assez coûteuse.

La forme des diffuseurs a une très grande influence sur la dépense d'eau nécessaire au rinçage. Si on a des diffuseurs à vidange par le côté il faut presque trois fois plus d'eau pour leur rinçage que pour celui des diffuseurs se vidant par le fond.

Gaz des diffuseurs.

Nous avons indiqué que les couvercles des diffuseurs comportaient un robinet servant à assurer l'évacuation des gaz dont on constate toujours la présence à la partie supérieure des diffuseurs.

Ces gaz sont surtout formés par l'air qui était emprisonné avec les cossettes lors de l'emplissage du diffuseur et que le mechage n'a pas chassé complètement. Il s'y ajoute l'air contenu dans l'eau et qui se dégage par le chauffage.

D'autre part les cellules de betteraves contiennent un certain volume de gaz qui se dégage pendant la diffusion sous l'action de la chaleur. On pourrait encore ajouter un certain volume d'acide carbonique provenant de l'action du jus sur les bicarbonates de l'eau. Au total on trouve environ 10 litres de gaz par hectolitre de capacité des diffuseurs. Bien entendu dans cette évaluation il

n'est pas tenu compte de la présence des gaz dûs aux fermentations.

L'action de ces gaz, s'ils ne sont pas évacués, est des plus néfastes : ils forment une gaine protectrice autour des cossettes qui empêche l'action dialysante de l'eau. La purge doit être faite fréquemment et, en principe, il doit toujours sortir du liquide quand on ouvre le robinet de purge.

Quand la purge n'as pas été faite régulièrement on constate à la vidange du diffuseur des masses plus ou moins volumineuses de cossettes grises, imprégnées de mousse qui ont échappé à la diffusion.

La présence de l'air dans les cossettes est une cause de diminution de rendement des appareils à laquelle il a été tenté de porter remède dans divers systèmes particuliers de diffusion, ainsi que nous le verrons plus loin.

Pureté des jus de diffusion.

C'est le propre de la diffusion de donner des jus qui ont une pureté supérieure à la pureté du jus de la betterave. La pureté des jus contenus dans les diffuseurs est variable depuis le diffuseur de tête jusqu'au diffuseur de queue ; en réalité cette diminution de pureté dans les jus des diffuseurs de queue est due pour une part à l'introduction de matières contenues dans l'eau ; cependant il est certain qu'à la fin de l'épuisement les cossettes cèdent des substances autres que le sucre, de plus en plus, à mesure que progresse l'épuisement ; nous avons d'ailleurs indiqué précédemment que cette considération intervient pour limiter l'épuisement.

S'il est intéressant d'étudier la marche de la batterie de diffusion au point de vue de la pureté il faut observer que les renseignements que l'on en peut tirer n'ont pas une valeur absolue, car la pureté ne fait pas ressortir une indication fort utile, celle des matières nuisibles, soit mélassigènes, soit visqueuses. La qualité réelle d'un jus n'est donc pas indiquée par sa pureté. Il importe d'examiner la nature des substances contenues dans ce jus. D'ailleurs on tire de la considération de la pureté peu de conclusions formelles quant à la marche à suivre à la diffusion.

Avec une température plus basse la pureté est plus élevée ; mais l'épuisement est moins bon. D'ailleurs les opérations d'épuration des jus éliminent la

chaux et l'acide phosphorique (et même une partie de la potasse) en sorte que au total à la fin du traitement la pureté est la même. Cependant l'excès d'albumine est gênante pour l'évaporation.

Il semble donc au total qu'il y a intérêt à travailler à 80%. A mesure qu'elle progresse l'industrie sucrière dirige ses efforts vers les marches rapides de manière à faire des campagnes courtes et à laisser le moins longtemps possible des betteraves en silos attendant d'être travaillées. Car c'est là, échappant à tout contrôle, que le sucre se perd.

La vitesse de diffusion des diverses substances que contient la betterave n'est pas modifiable au gré du fabricant. C'est du côté de la composition de la betterave, c'est-à-dire du côté de la culture, qu'il faut tenter les améliorations, en produisant des betteraves dans lesquelles diminue la proportion de matières nuisibles. Le procédé de Vecchis travaillant une cossette dans laquelle des éléments particulièrement nuisibles sont rendus insolubles permet d'obtenir directement non des jus mais de véritables sirops d'une pureté très supérieure aux jus qu'on obtient par la diffusion ordinaire en partant des mêmes betteraves.

Fermentation à la diffusion.

Le jus de diffusion à ses divers états de concentration dans les diffuseurs constitue un milieu éminemment fermentescible ; la température à laquelle est successivement soumis ce jus est, pour une notable partie du temps de séjour dans la batterie, favorable au développement des fermentations. Cependant lorsque les betteraves sont saines et que le travail est normal on peut dire que les fermentations sont exceptionnelles et que lorsqu'elles ont lieu elles sont peu importantes.

C'est par l'eau de lavage qui reste adhérente aux betteraves qu'un grand nombre de microorganismes sont introduits dans la batterie. Aussi la mesure essentielle à prendre pour éviter les fermentations est de les soumettre, après le lavage soigneusement fait dont nous avons montré toute l'importance, au point de vue du travail aux coupe-racines, à un rinçage dans de l'eau propre. L'accélération du travail réduisant au minimum le temps pendant lequel les jus sont maintenus à de basses températures, c'est-à-dire entre 30 et 40°, températures optima pour le développement prodigieux des germes, est une mesure non moins importante. Le ferment butyrique est l'agent des fermentations les plus habituelles ; l'odeur caractéristique de la fermentation butyrique avertit de son développement.

Bien entendu quand, pour des raisons quelconques, les fermentations s'établissent, il est opportun de les enrayer par l'emploi des antiseptiques ; et le formol est tout indiqué. Son emploi ne peut

être envisagé qu'à faible dose et à titre préventif. On emploiera ce produit à raison de 5 gr. par hectolitre. Quand la fermentation s'est déclarée, une dose quatre ou cinq fois plus forte est nécessaire.

Les parties pourries des betteraves qui peuvent parfois s'être introduites dans la diffusion favorisent énormément les fermentations et donnent lieu à la production des gaz. Il va sans dire que lorsque les betteraves altérées sont peu nombreuses il vaut mieux les éliminer (1).

L'emploi du bisulfite de soude a été fréquemment utilisé pour combattre les fermentations (2) ; c'est sous forme de solution à 30 B° (contenant 96 gr. de SO^2 libre et 280 gr. de SO^2 total par litre) qu'on utilise ce réactif. On en met une dose de 1 à 2 litres par tonne de betteraves. Il y a décoloration du jus. On n'observe pas de formation de glucose. On constate des incrustations dans l'appareil d'évaporation.

L'introduction du liquide se fait soit sur les cossettes au moment du chargement soit dans le diffuseur qui présente le maximum d'impuretés, c'est-à-dire le sixième. On introduit le réactif à l'aide d'une pompe refoulant sur la conduite de jus du diffuseur.

Hors des cas spéciaux de betteraves altérées en grande quantité, qu'on est dans l'obligation de travailler, l'emploi des antiseptiques ne se recommande pas. La propreté, la rapidité du travail et le maintien de la température supérieure à celle qui favorise les fermentations suffisent généralement à les éviter.

D'une manière générale il ne faut pas oublier dans l'industrie sucrière, que seule la chaleur peut déterminer la stérilisation radicale. Il va sans dire que les installations ne permettent pas toujours l'emploi de la vapeur dans des conditions telles que l'obtention de la température nécessaire soit réalisée mais cela serait fort souhaitable que les installations fussent toujours faites de manière à permettre la stérilisation.

(1) Les betteraves gelées pourrissent rapidement après qu'elles ont été dégelées. C'est seulement lorsqu'elles sont traitées immédiatement après qu'on les a dégelées qu'on peut espérer un travail passable. Il faut abaisser à 70° ou 72° la température de la diffusion et il faut augmenter le soutirage.

(2) A. Vivien conseilla l'emploi d'eau contenant de l'acide sulfureux ou du bisulfite de chaux à la diffusion et une addition d'acide sulfureux sur les cossettes tombant dans le diffuseur pour faciliter l'épuisement, donner des jus purs et empêcher les fermentations dans les diffuseurs (voir *Bulletin de l'Association des chimistes*, 1892-1893, p. 496-501).

Enfin il ne faut pas perdre de vue que les antiseptiques — formol, bisulfite ou autres produits — doivent être employés de préférence non pour arrêter une fermentation commencée dans un liquide sucré, mais pour prévenir la fermentation en les employant largement, à défaut de chaleur, sur les parois des vases contaminés avant qu'y soient introduits les liquides pouvant fermenter.

La chaux, sous forme de lait, doit être largement employée pour cette désinfection préalable des vases, notamment des bacs jaugeurs qui doivent être chaulés à chaque arrêt.

Il est hors de doute qu'il y a des pertes de sucre à la diffusion par fermentations diverses produisant des acides butyrique, acétique, formique et lactique. Un chimiste russe, Mintz, a donné des chiffres qui confirment sensiblement ceux trouvés par M. Seillard. On ne saurait toutefois déduire avec certitude la quantité de sucre détruite qui correspond à une teneur en acide butyrique car la fermentation butyrique ne se produit pas toujours sous forme de la réaction classique correspondant à une demi molécule de saccharose par chaque molécule d'acide butyrique trouvée. Mintz, d'après la teneur en acides butyrique, acétique, formique et lactique trouvée dans des mélasses arrive à cette conclusion, que dans les cas qu'il a examinés, la perte en sucre serait de 0 gr, 0105 pour cent de jus.

M. Claassen considère que, au total, les pertes de sucre à la diffusion même dans le cas des fermentations les plus manifestes sont toujours très réduites. M. Abraham soutient au contraire que même dans des conditions normales les pertes biologiques à la diffusion sont fort importantes.

Le contrôle de l'acidité des jus de diffusion est le meilleur moyen de déceler les fermentations dans la diffusion.

Des études bactériologiques de M. Kirw, de Kiew, en 1912, il résulte qu'une grande variété de ferments existent dans le jus de diffusion ce qui n'est pas surprenant quand on pense à la variété de la flore microbienne de la terre. L'auteur a signalé 9 espèces de bactéries anaérobies donnant de l'alcool éthylique, de l'alcool butyrique, de l'acide acétique et de l'acide lactique.

En travaillant vite, proprement et à chaud, le bon fabricant se met assez bien à l'abri des méfaits de cette flore bactérienne, dont

il ne doit cependant jamais méconnaître l'activité toujours prête à se manifester.

Observations relatives aux sucres réducteurs existant dans le jus.

On peut considérer comme acquis que le glucose n'augmente pas dans le travail normal de la diffusion. Cependant en raison de la préexistence du glucose en quantité variable mais toujours faible dans la betterave en France et en Allemagne, on constate dans le jus de diffusion la présence du glucose en quantités croissant régulièrement du commencement à la fin de la campagne malgré des marches de diffusion irréprochables. Il faut bien observer d'ailleurs que les pouvoirs réducteurs constatés à la liqueur de Violette ne correspondent pas, pour la totalité, à du sucre inverti, mais que les matières pectiques dont il existe de faibles quantités dans les jus sont aussi réductrices.

En général, on observe une plus grande proportion de réducteurs, pour cent de sucre cristallisable, dans les betteraves pauvres que dans les betteraves riches.

Dans le cas d'arrêt prolongé on constate une certaine production de réducteurs.

La quantité de sucre réducteurs produite dans les opérations de la diffusion n'est nulle ou négligeable que dans le cas du travail normal : il est loin d'en être ainsi dans le cas d'un travail anormal de betteraves altérées ou par suite d'une fermentation due à une cause quelconque.

Un des avantages du procédé d'extraction du sucre après dessiccation est d'éviter de travailler des betteraves altérées comme il arrive dans le procédé ordinaire. Il convient d'ajouter que le procédé de Vecchis a été mis au point en Italie avec des betteraves extrêmement glucosées. L'augmentation de glucose % de sucre est nulle par le fait de la dessiccation et la présence de ce taux élevé de glucose n'empêche pas une purification très aisée des jus concentrés obtenus.

Procédés divers de diffusion.

Généralités.

Si la marche normale d'une batterie de diffusion ne s'accompagne habituellement pas de fermentations manifestes, il n'en est pas moins utile de réduire autant que possible le temps de séjour des jus dilués au contact des cossettes ; car c'est à des températures propices à des destructions de sucre qu'il a lieu.

C'est à quoi tendent par des moyens divers un certain nombre de méthodes particulières de travail à la diffusion, qui diffèrent plus ou moins profondément de la méthode classique exposée ci-dessus. Les unes consistent en de simples modifications dans la circulation des jus et sont applicables à la batterie, sans changement du matériel ; d'autres comportent pour activer la circulation, une augmentation plus ou moins importante du matériel.

D'autre part divers chercheurs ont été amenés, soit par des observations techniques personnelles soit en considération de vues

théoriques sur le rôle des enzymes, à commencer le travail de la diffusion par un chauffage des cossettes à une température suffisamment élevée pour détruire ces enzymes. La réalisation de cette condition a été combinée avec des dispositions permettant d'accélérer la circulation.

La réalisation de la continuité a été recherchée dans divers procédés en raison des avantages théoriques certains qu'elle présente ; un matériel tout différent est alors nécessaire.

Procédés basés sur des modifications à la circulation des jus dans la batterie ordinaire.

Scindage de la batterie.

En marche ordinaire de la diffusion il y a une diminution nécessaire du rendement du matériel parce qu'il y a constamment deux diffuseurs inactifs, ce qui se traduit par une perte de $1/6$ si on a douze diffuseurs, comme cela est habituel. On a cherché à réduire cette perte de temps en scindant la batterie de diffusion, ce qui peut se faire quand la batterie compte quatorze éléments. On scinde la batterie soit en formant deux demi-batteries indépendantes soit en les reliant par des canalisations pour les faire fonctionner alternativement c'est-à-dire qu'on soutire un diffuseur d'une des demi-batteries pendant qu'on emplit un diffuseur de l'autre.

Le résultat de ce dédoublement est de produire une augmentation très considérable de vitesse, augmentation qui pourrait même être excessive. On ramène la vitesse à une valeur normale en chargeant les diffuseurs avec de la cossette plus fine, ce qui a pour effet de produire une augmentation de rendement du diffuseur, dans lequel on peut mettre un poids plus important de cossette, tout en obtenant un meilleur épuisement.

Le scindage de la batterie est surtout recommandable dans le cas où la résistance des cossettes est exagérée du fait de la hauteur relative des diffuseurs, lorsque la hauteur totale des cossettes est de 30 mètres.

Le scindage de la batterie est encore indiqué lorsque les tuyauteries sont trop faibles comme section.

L'augmentation de rendement est notable et peut atteindre un cinquième. Cette disposition entraîne une augmentation de main d'œuvre, mais largement compensée. Cependant il ne faut employer cette disposition que si on est assuré de pouvoir réaliser la surveillance que nécessite la complication plus grande du service, sinon le remède serait incontestablement pire que le mal.

Renversement de la circulation.

La marche normale de la diffusion présente divers inconvénients. Dès que le meichage est terminé le jus le plus concentré est en haut ; c'est donc le jus le plus faible qui sort le premier et le jus concentré passe sur les cossettes moins riches. Il semble donc logique de soutirer dans le sens du meichage.

D'autre part le meichage par en haut tend à coller la cossette sur le fond perforé et à déterminer dans la masse des passages de liquide ou *renards*, laissant d'autres parties échapper à la circulation. Si au contraire on fait arriver le jus par le bas sur les cossettes fraîches, celles-ci ont une tendance à se soulever au lieu de se coller.

Bien entendu il faut tout d'abord disposer à la partie supérieure du diffuseur un système de panier à tôle perforée empêchant la pulpe d'être entraînée. De plus les gaz, dans ce mode de travail, ne s'opposent pas à la marche des liquides, car ils circulent dans le même sens qu'eux.

Ce mode de travail a l'inconvénient d'entraîner des modifications dans la tuyauterie. Nous n'entrerons pas dans le détail de divers procédés qui se sont plus ou moins répandus (Procédé Stiklan, Procédé Camuset).

Procédés basés sur le chauffage des cossettes au début de la diffusion.

La tyrosinase, ferment soluble du groupe des oxydases qui existe dans la betterave, produit la coloration noire des jus. Cette coloration n'a pas d'influence sur la pureté du jus et n'a pas de répercussion sur la coloration du produit final. Elle a cependant préoccupé nombre de chercheurs à commencer par Achard qui proposait de chauffer d'abord les cossettes avant d'en extraire

le jus ; dans ces conditions, la diastase étant détruite on obtient des jus clairs.

Pour obtenir la destruction de l'oxydase il faut que les cossettes soient soumises à une température de 60 à 70°. Pour que la destruction atteigne toutes les parties des cossettes il faut que l'action soit prolongée environ dix minutes.

C'est un résultat qu'on obtiendra accessoirement par l'emploi du procédé qui consiste à sécher les cossettes avant l'extraction du jus (de Vecchis).

Des procédés ont été proposés, qui sont basés sur le chauffage préalable des cossettes dans le diffuseur même, par de l'air chaud (ou par les gaz de combustion). (*Procédé Stenzel, procédé Heuzel*). Dans ce dernier la cossette était portée à 80° et cette élévation de la température était voulue par l'auteur pour coaguler les matières albuminoïdes. Ce résultat n'était que très imparfaitement atteint.

Dans le même but le *procédé Bergreen* emploie la vapeur qui chauffe les cossettes dans le diffuseur dans lequel on a d'abord fait le vide ; l'action de la vapeur est plutôt mauvaise surtout sur les betteraves qui la reçoivent directement : il y a cuisson des cossettes.

Le chauffage des cossettes a été tenté dans le procédé *Garez*, en chauffant d'abord les cossettes à la sortie du coupe-racines à l'aide d'un jet de vapeur détendue. Les cossettes n'étaient ainsi portées qu'à une température de 30°. Le chauffage était surtout fait au milieu du diffuseur par une arrivée de jus chaud. Celui-ci était obtenu à l'aide d'un jus prélevé au moment du soutirage en passant dans un réchauffeur. Ce jus chaud était amené par une conduite perforée dite conduite de meichage, aboutissant au centre du diffuseur. Ce jus qui avait une température de 100° était insuffisant, malgré le chauffage préalable, pour porter les betteraves à une température de 70°, dans toute la masse. Ce procédé a été appliqué avec des variantes notamment en supprimant le chauffage des cossettes sous le coupe-racines.

Dans le *procédé Sahut*, on fait le vide dans le diffuseur et on y fait arriver ensuite de la vapeur (qu'on prend sur le deuxième corps de l'appareil à évaporer), les eaux de condensation sont aspirées et envoyées à un condenseur barométrique. Ce procédé comporte une assez grande complication et l'adjonction d'un matériel supplémentaire important.

Procédé Kaiser. — Après avoir fait le vide dans le diffuseur on y introduit de la vapeur prélevée sur le deuxième corps. Le vide des diffuseurs est à 60 et celui de la vapeur à 15 ou 20 centimètres. Il y a expansion de la vapeur dont la température passe de 90 à 75°. On a disposé l'arrivée de la vapeur non pas au contact de la tôle perforée mais à un niveau sensiblement supérieur; ainsi les cossettes au contact de la tôle demeurent intactes et n'entravent pas la circulation comme cela se produit dans d'autres procédés. L'eau de condensation de la vapeur qui est à 75° produit une diffusion intense. Au total on n'obtient pas d'avantage très marqué sur la diffusion ordinaire. Cependant les pulpes se pressent mieux.

Procédé Weyr. — Dans ce procédé on chauffe les cossettes avec du jus filtré de première carbonatation à une température de 75 à 80°, qui est amené sur les cossettes à leur sortie du coupe-racines; on emplit le diffuseur avec le mélange, qui a 60° environ. Par ce procédé on atteint un résultat notable qui est de charger les cossettes de 15 à 20 % en plus dans les diffuseurs. Coagulation des matières albuminoïdes des cossettes, suppression de toute perte de sucre par la fermentation sont bien obtenus, mais le travail de la diffusion est fait en milieu très légèrement alcalin, ce qui n'est pas une condition favorable, sans compter qu'il est illogique de faire revenir en arrière le jus de carbonatation qui a déjà fait l'objet d'un travail important. Mais chauffage facile des cossettes et augmentation de la capacité de travail sont les résultats positifs à l'actif du procédé; cependant il ne s'est pas répandu.

Procédés basés sur l'accélération de la circulation avec dispositions particulières du matériel.

Procédé Kohler. — On fait d'abord passer le jus successivement dans deux ou trois calorisateurs, puis on meiche avec le jus ainsi chauffé comme par le procédé ordinaire; on continue de pousser le jus par du jus réchauffé circulant de bas en haut. Il faut donc pour pratiquer ce procédé, en outre de tuyauteries de liaison pour faire passer le jus dans les calorisateurs, un dispositif à la partie supérieure pour éviter l'entraînement des pulpes.

Mais si on a par ce procédé un plus grand épuisement de jus et un soutirage plus faible, le résultat n'est pas encore très supérieur

à celui qu'on obtient par la méthode ordinaire. Il est vrai que ce procédé comporte peu d'augmentation de matériel.

Procédé Mélicher et Cerny. — Ce procédé comporte une augmentation de matériel assez sensible. Une pompe aspire le jus d'un diffuseur mis hors la circulation et le refoule à travers un réchauffeur particulier. Chaque diffuseur est ainsi traité à tour de rôle lorsqu'il vient d'être meiché ; le jus sortant du réchauffeur passe dans un réservoir, dit circulateur, d'où il est envoyé au diffuseur suivant pour en effectuer le meichage par le bas. Le circulateur est une bêche munie d'un trop plein qui va au mesureur. La pompe est puissante pour effectuer rapidement la circulation et la surface de chauffe du réchauffeur n'a pas moins de 1 m² 6 par hectolitre de capacité du diffuseur. En dehors de ce matériel supplémentaire la batterie comporte deux conduites supplémentaires et chaque diffuseur doit recevoir deux soupapes supplémentaires.

Procédé Naudet. — Le procédé de diffusion Naudet est un procédé qu'on désigne sous le nom de diffusion à « circulation forcée ». Il comporte un chauffage en tête de la batterie.

Il comprend l'addition à la batterie ordinaire de diffusion d'un *compensateur*. C'est un réservoir qui fonctionne comme circulateur. Le jus prélevé dans un diffuseur passe directement dans cet appareil ; une pompe centrifuge l'y aspire et le refoule dans un réchauffeur au sortir duquel il se rend dans le diffuseur d'où on l'avait soutiré. Dans le diffuseur *circulé* le jus est amené à 80, 85° ; il s'y déplace avec une vitesse une fois et demie supérieure à la vitesse normale de circulation dans la batterie.

Les cossettes fraîches sont d'abord meichées par du jus froid. Celui-ci est ensuite déplacé par du jus chaud qui a passé dans l'appareil de réchauffage.

C'est un procédé qui a fait ses preuves et donné lieu à des applications durables.

Procédé Grière. — Dans ce procédé on chauffe les cossettes fraîches dans le diffuseur qu'on emplit à l'aide de jus de diffusion porté à 90°.

Son application entraîne l'adjonction d'un certain matériel. La circulation du jus est plus compliquée que dans la diffusion ordinaire. On place un bac en contre-bas de la batterie ; il reçoit le

jus venant du diffuséur en chauffage. Une tuyauterie aspire le jus de ce récipient et par l'action d'une pompe l'envoie dans un calorisateur. Au sortir de ce calorisateur le jus passe sur de nouvelles cossettes fraîches.

Le procédé *Psenicka*, selon les indications du brevet, consiste à additionner aux jus bruts de diffusion une portion de jus trouble de 1^{re} carbonatation prise sur la conduite de la pompe qui le refoule aux filtres-presses de façon à avoir un mélange neutre ou légèrement alcalin. On porte dans un réchauffeur de jus chaulé qui porte la température du mélange à 85° ; la séparation du précipité du jus clair s'effectue très facilement et la séparation en est faite au filtre-pressé. Le jus chaud, filtré ou non, est reçu dans un malaxeur où on lui ajoute de la chaux, 1,5 %, puis envoyé à la 1^{re} carbonatation où il subit les traitements habituels.

Des essais faits à Modrany (Bohême) ont donné, par rapport à un travail ordinaire des augmentations de pureté dans les jus après saturation et filtration.

On peut dire que les nombreux procédés de diffusion plus ou moins compliqués dont nous avons donné une description sommaire perdent beaucoup de leur intérêt devant les facilités d'extraction d'un jus concentré et très pur qui résultent du traitement des cossettes desséchées.

Diffusion continue.

Il n'y a pas lieu d'insister beaucoup sur les avantages théoriques que doit présenter la diffusion continue. Les plus anciens techniciens de l'industrie sucrière ont tenté d'appliquer la marche continue avant même que la diffusion soit entrée dans la pratique, puisque ceux qui opéraient par macération se préoccupaient de réaliser une marche continue. Malgré de nombreuses tentatives ce n'est qu'en 1902 que le procédé Hyross-Rack de diffusion continue entre dans la pratique, en appliquant à la vérité un principe qui n'est pas exclusivement celui mis en œuvre dans la diffusion classique.

Nous citerons parmi les systèmes de diffusion continue qui ne font pas intervenir la pression le procédé étudié par la maison Olier de Clermont-Ferrand dans lequel on fait circuler les cossettes par le dispositif suivant :

La batterie se compose de diffuseurs de 10 m. de haut placés verticalement les uns à côté des autres et raccordés par des culottes de fonte, en haut et en bas. Dans l'intérieur des diffuseurs se déplace un câble métallique sans fin portant des disques perforés et qui parcourt les diffuseurs impairs de haut en bas et les diffuseurs pairs de bas en haut. A la sortie du dernier diffuseur le câble continue sa marche et rentre dans le premier diffuseur ; le tout disposé comme une pompe à chaîne.

A la tombée du coupe-racines les cossettes arrivent dans le diffuseur 1 qu'elles parcourent de haut en bas, poussées par les disques perforés. Elles pénètrent dans le diffuseur 2 qu'elles parcourent de bas en haut en sens inverse.

L'eau circule en sens inverse, venant d'un bac en charge.

L'inventeur estime pouvoir travailler 300 tonnes de betteraves avec 5 ou 7 diffuseurs de 0 m, 60 de diam. et 10 m. de haut. L'épuisement pourrait être complet.

Procédés de Pression-diffusion et procédés mécaniques divers.

Le principe classique de la diffusion est respecté dans tous les procédés que nous avons successivement passés en revue. Les modifications proposées ou réalisées y sont apportées au prix de complications parfois onéreuses ou d'une dépense de calorique supplémentaire et n'ont pas constitué des perfectionnements assez manifestes pour s'imposer d'une manière générale. Mais cependant les applications du procédé Naudet sont nombreuses en France et à l'étranger.

Les procédés suivants présentent des modifications plus radicales ; ils sont pratiqués avec des installations comportant un matériel très différent du matériel ordinaire de diffusion.

Diffusion continue Hyros-Rak. — Ce système de diffusion a été installé en 1904 à l'usine de Bohmisch-Brod en Bohême de manière à travailler 500 à 600 tonnes par jour, après une première installation d'essai travaillant seulement 7.000 kilogs de betteraves.

Il donne directement des pulpes pressées à la sortie du diffuseur de queue et, à la sortie du diffuseur de tête, du jus de diffusion. On supprime les eaux résiduelles de diffusion, aussi bien les petites

eaux que les eaux des presses. Chaque diffuseur est en réalité un diffuseur-presse.

Il est formé d'une partie cylindrique et d'une partie tronconique; alternativement, dans la batterie, chaque diffuseur est placé la partie cylindrique en haut ou en bas. Une hélice placée dans chacun d'eux entraîne les cossettes, soit de haut en bas soit de bas en haut. Dans chaque appareil on peut distinguer une zone de meilage, une zone de diffusion, une zone de séparation et finalement une zone de pression. Des réchauffages sont nécessaires.

Des essais nombreux ont été faits par MM. Saillard, Andrlick, puis Herzfeld sur la batterie de diffusion Hyros-Rack de Bohmisch-Brod; on en trouve le détail dans le supplément de la circulaire hebdomadaire du Syndicat des Fabricants de sucre du 27 janvier 1907.

L'encombrement du système est faible, le travail nécessite peu de main d'œuvre; mais la conduite est plus délicate que celle d'une batterie ordinaire. C'est là un point important puisque nous avons vu que ce qui importe surtout en sucrerie c'est la régularité du travail et la rareté des accidents ou des causes de travail irrégulier.

Ajoutons qu'il faut mettre à l'actif du procédé de diffusion Hyros-Rak l'économie de calories qui résulte de ce fait que, pour 100 kilos de betteraves il n'est sorti que 30 kilos de pulpes au lieu de 200 par le procédé de diffusion ordinaire.

Diffusion Collette. — Ce système de diffusion se pratique avec une batterie de 5 à 7 diffuseurs de 10 m. de haut et de 0 m, 60 de large pour un travail quotidien de 300 tonnes.

Des diffuseurs communiquent ensemble par des culottes. Une chaîne les parcourt et à cette chaîne est fixée dans chaque appareil une plaque perforée. La chaîne s'applique sur une roue à empreintes et à alvéoles disposée à chaque changement de direction. Les cossettes parcourent en continu le 1^{er} diffuseur de haut en bas, puis le second de bas en haut et ainsi de suite. L'eau entre dans le dernier diffuseur et circule en sens inverse des cossettes, passant à travers la perforation des disques. Le jus sort concentré à la partie supérieure du 1^{er} diffuseur. Chaque diffuseur est muni d'une double enveloppe pour en assurer le chauffage.

La diffusion Collette a cet avantage selon ses constructeurs de coûter moins cher d'installation que la diffusion ordinaire. De plus, elle permettrait un épuisement des cossettes poussé beaucoup plus loin, tout en n'augmentant pas la quantité de non sucre introduit dans les jus. Les ingénieurs qui préconisent cette diffusion affirment qu'ils pourraient pour une batterie travaillant par jour 300 tonnes

retirer 1.500 kilos de sucre de plus par journée de travail qu'avec une diffusion ordinaire. Il y a là de quoi retenir l'attention. Nous avons pensé devoir en parler ici quoique le procédé ne fasse l'objet que d'applications en distillerie.

Procédé Kessler. — Dans ce procédé le vase diffuseur est unique ou, si on veut, formé de deux vases communicants d'un diamètre de même ordre que celui d'un diffuseur ordinaire, la communication s'établissant par toute la section. La longueur totale du vase correspond à la somme des charges de cossettes de 5 ou 6 diffuseurs ordinaires.

Les cossettes sont amenées d'une manière continue du coupe-racines, par un transporteur, au sommet de la branche verticale du vase diffuseur. A la partie supérieure de cette branche du vase se trouve disposée une hélice verticale qui pousse la masse des cossettes dans le vase. Notons que celui-ci, d'allure générale cylindrique a cependant un diamètre un peu réduit du côté de l'entrée et qui va s'élargissant à mesure qu'il approche de l'orifice de sortie des cossettes épuisées.

Celles-ci arrivent au sommet de la branche oblique du vase diffuseur et sont prises par une première hélice qui les amène à une seconde hélice de pression qui leur fait subir une pression préparatoire modérée. A la sortie elles sont entraînées vers des presses à pulpes ordinaires.

L'eau circule de manière continue : elle est amenée du côté de la sortie des cossettes par une double enveloppe dont la paroi intérieure est perforée.

Un dispositif particulier assure le désaéragé des cossettes au commencement de la diffusion.

Notons qu'avec cet appareil les espaces nuisibles n'existent pas, les canaux entre les cossettes sont supprimés ; il en résulte que l'appareil en marche contient par hectolitre 70 kilos de cossettes au lieu de 55 qu'on met péniblement dans la batterie ordinaire.

Procédé d'ébouillantage de Steffen. — Le procédé *Steffen* pour l'épuisement des cossettes est un procédé qui applique à la fois la pression et la diffusion, mais emploie à cet effet un matériel très différent de celui de la diffusion ordinaire ; il se caractérise d'ailleurs par l'obtention de produits assez différents : le jus est très concentré ; de plus les cossettes obtenues ne sont pas épuisées. On y laisse

une notable quantité de sucre de manière à obtenir un produit riche en vue de l'alimentation du bétail.

1° Un coupe-racines particulier donne non des cossettes ordinaires, mais des lamelles d'une épaisseur comprise entre 1 et 2 millimètres, qui doivent être parfaitement exemptes de râpures.

2° Au dessous de ce coupe-racines on a disposé une trémie de telle manière que les vapeurs ne puissent se dégager dans les ateliers. Le fond de cette trémie forme une nochère; elle reçoit du jus qui vient arroser les cossettes fraîches qu'on y introduit en même temps que celles-ci sont soumises à un brassage énergique. Convenablement mélangés, jus et cossettes sont déversés dans une cuvette munie d'une grille à barreaux très serrés qui en effectue la séparation.

L'ensemble de cet appareil se nomme l'échaudoir.

La durée de contact est de 3 à 4 minutes. La proportion de jus est de 5 à 7 kilos par kilogramme de cossette. Le jus est introduit à 93-97°.

Les cossettes subissent dans la nochère une première pression sommaire avant d'être envoyées aux presses.

Le jus est recueilli dans un réservoir ou collecteur de circulation.

Au fond de ce réservoir aboutit une tuyauterie qui amène le jus à une pompe qui le refoule à travers des réchauffeurs d'où il revient dans la trémie aux cossettes fraîches.

Le jus sortant des presses s'écoule dans un autre collecteur semblable au précédent et muni d'un cylindre épulpeur. Les pulpes fines qui se déposent sur le cylindre sont reprises par une pompe et renvoyées aux presses.

Le jus est soutiré dans l'échaudoir par trop plein : on retire 70 à 85 % de jus. Il faut maintenir une très active circulation pour que l'échange de température se produise.

3° Les presses nécessaires à la pression des cossettes sortant de l'échaudoir sont des presses Bromberg très puissantes. Les jus sortant des presses retournent au circulateur.

Bien entendu les pulpes à leur sortie des presses sont soumises à la dessiccation.

Quoique constituant une originalité incontestable faisant époque dans la technologie sucrière, le procédé Steffen donne lieu à diverses critiques qui ont été, depuis son apparition, souvent for-

mulées. Passage de folle pulpe dans les jus ; lavage des cossettes dans le jus chaud, c'est-à-dire introduction dans celui-ci de terre fine qui normalement pourrait rester dans les pulpes, d'où difficultés dans la suite du travail ; enfin emploi de presses monstres, dont la grande puissance, condition nécessaire de l'application du procédé, exige une grosse dépense de force motrice. Beaucoup des inconvénients signalés peuvent évidemment s'atténuer par perfectionnements successifs d'un procédé au total intéressant.

Le procédé *Hermann-Sterkjan* est basé sur les mêmes principes que le procédé *Hyros-Rak*, des différences dans l'agencement du matériel l'en distinguent seulement.

Une curieuse légende s'était établie à la suite des premières expériences de contrôle du procédé *Steffen* en 1906 à la sucrerie d'*Elsdorf*. On trouvait plus de sucre dans les différents produits sortant du travail (cossettes épuisées, sirop vierge, petit jus, et tourteaux de carbonatation) qu'on en trouvait dans la cossette entrée en travail — la différence étant de 0,48 %. Dans des essais faits parallèlement dans la même usine avec la diffusion ordinaire on trouva une perte de 0,19. Les auteurs en concluaient que la méthode donnait un plus-sucré par rapport à la diffusion. Il va sans dire que l'explication peut être trouvée. C'était un manque de finesse de la pulpe obtenue avec une presse-*Sans-Pareille* usagée qui donnait un chiffre trop bas pour la polarisation de la cossette entrée en fabrication. La légende fut assez tenace cependant.

Suivant une communication de *Dewald*, à la sucrerie d'*Alterfilde* on aurait obtenu pour 100 kilos de betteraves donnant 14, 5 de sucre % par le procédé d'analyse par digestion alcoolique :

10 k, 38 de sucre, soit en sucre réel	9. 93
2,67 de masse cuite	1. 81
11, 00 de cossettes sucrées à 34 %	3. 74
La perte dans les écumes étant de	0. 24
on a au total	15. 72

soit une différence en plus de 0, 47.

Selon *Steffen* il se produirait au cours de travail de la diffusion des pertes de sucre que l'analyse par digestion alcoolique des cossettes fraîches ne permet pas de déceler.

Si on découpe 6 betteraves par moitié en lamelles de dix millimètres d'épaisseur qu'on les traite par 4 à 5 fois leur poids d'eau bouillante puis qu'on détermine le sucre dans le mélange on retrouve le poids correspondant au sucre mis en travail, mais qui excède de 1,5 environ la teneur des six autres moitiés dont on a déterminé la teneur en sucre par digestion alcoolique des betteraves hachées. *Dewald* attribue la différence à une destruction de sucre au cours de la diffusion, perte fâcheuse qui ne se produirait pas dans le procédé d'ébouillantage *Steffen*.

Le procédé d'ébouillantage Steffen qui donne une cossette riche en sucre à 28 % de sucre peut être particulièrement intéressant en de certaines circonstances économiques, lorsque le sucre de consommation est à très bas prix. Lorsque celui-ci est au contraire cher il n'est pas possible de laisser 20 à 25 % de sucre de la betterave sous forme d'aliment pour le bétail c'est pourquoi on a été amené à le modifier et à compléter l'ébouillantage et la pression par un traitement par diffusion ordinaire des cossettes pressées. C'est sous cette forme que dans une grande sucrerie française il fut appliqué, méritant alors le nom suivant :

Procédé Steffen d'ébouillantage et diffusion. — Dans ce procédé on peut arriver à produire des pulpes épuisées. Il se pratique en deux phases : 1^o Ebouillantage.

La cossette ordinaire à la sortie du coupe-racines tombe dans une trémie d'ébouillantage dont le fond est en forme de noyère ; une tuyauterie de très large diamètre lance sur les cossettes du jus chaud en proportion de 6 à 8 hectolitres par 100 kilos de cossettes.

Un arbre à hélice fixé dans la noyère brasse le tout énergiquement et en même temps l'entraîne vers un élévateur ; à la partie inférieure de l'élévateur on a disposé une cuvette munie d'une grille fine qui ne laisse passer que le jus. L'ensemble est entouré de tôles pour empêcher les buées de se répandre dans l'atelier ; un dôme avec cheminée les évacue.

Les cossettes sont amenées au-dessus des presses ; à leur sortie elles sont envoyées dans une diffusion ordinaire.

Les cossettes qui sortent des presses sont amenées aux diffuseurs par un transporteur à hélice ou par tout autre dispositif. Comme elles ont été fortement comprimées quand on les met en contact avec du jus elles l'absorbent rapidement et augmentent de volume ; d'autre part elles ne contiennent plus qu'une faible proportion de l'air qui était primitivement contenu dans les cossettes fraîches. On doit donc charger beaucoup moins les diffuseurs ; aussi il est nécessaire de faire arriver ces cossettes dans un diffuseur qui renferme déjà du jus. La diffusion s'opère alors dans les conditions habituelles avec toutefois cette notable différence qu'on opère le soutirage en deux fois. Un premier soutirage est envoyé au me-

sureur et un second soutirage est envoyé au diffuseur fraîchement vidé.

Nous ne savons si au total le procédé est supérieur au point de vue économique aux procédés ordinaires, si on tient compte normalement des amortissements et de l'intérêt des capitaux engagés.

Procédé Steffen modifié par Vogelberg. — Nous verrons à propos de la cuite que dans les procédés ordinaires de diffusion on effectue des rentrées d'égout à divers postes de fabrication, mais en général vers la fin seulement de la fabrication, c'est-à-dire partie dans la cuite même, partie dans les écumes de deuxième carbonatation.

Dans le procédé dont nous parlons ici, on effectue les rentrées d'égout sur les cossettes sortant de l'épuisement partiel. Les égoûts passant sur ces cossettes s'y épurent en déplaçant le jus qu'elles contiennent. On établit une circulation des jus sortant de la dernière pression vers la première ; en sorte qu'on introduit dans l'échaudoir un jus qui a passé successivement à travers les trois presses. Le sucre de deuxième jet est refondu et traité comme la mélasse.

Procédé Bosse. — C'est en somme un procédé entièrement basé sur la pression, mais avec chauffage préalable de la cossette. Aulard a donné dans le Bulletin de l'Association des Chimistes de Sucrerie et de Distillerie (1911) une description du procédé que nous reproduisons ici :

Sous le coupe-racines existe un dispositif spécial à deux compartiments juxtaposés et entièrement clos. La cossette les traverse, tombant en cascades dans un afflux de vapeur prélevée sur le quadruple effet et dont la pression est de 0,3 à 0,4 atmosphères. La cossette s'échauffe à 75° - 80°, se gonfle et s'imbibe de vapeur.

La cossette échaudée et transportée par une hélice distributrice aux presses Klusemann.

La pulpe de première pression tombe dans une hélice qui l'entraîne dans un malaxeur où elle est additionnée d'eau chaude et pressée à nouveau dans d'autres presses.

C'est un procédé qui présente l'avantage d'une assez grande simplicité.

Le principe de ce procédé est à la base de divers autres plus récents tels que le procédé « Le Rapide » dont nous parlons plus loin.

Diffusion par le procédé « Le Rapide ».—M. Raabe a fait en 1920 à l'Association des Chimistes allemands à Magdebourg une communication sur ce procédé appliqué à l'aide d'un appareil construit par les établissements Paschen à Coethen.

Ce procédé a fait l'objet de diverses applications sous sa forme moderne. Il répond à la description qu'on en trouve dans un article de M. Sachs (Sucrerie belge 1^{er} mois 1925 page 479). Dans cet appareil les cossettes sont transportées automatiquement à l'aide de bras propulseurs successivement dans les divers compartiments au nombre de 24, formant une série de diffuseurs, ménagés dans une auge demi cylindrique recouverte d'un couvercle de même forme, de sorte que l'ensemble a l'aspect extérieur d'un long cylindre. Le jus diffusé passe à travers un tamis d'une chambre dans l'autre. Des dispositifs ingénieux, pour la description desquels nous renvoyons à l'article précité, permettent de suivre la marche de l'opération qui est entièrement automatique. Il y a économie de main d'œuvre et grande rapidité d'épuisement ; celui-ci se fait à température élevée et supprime toute chance d'altération. Le procédé peut faire l'objet d'applications particulières à l'aide d'appareils de petites dimensions pour le traitement des radicelles et des queues de betteraves.

Emploi de la force centrifuge pour l'extraction du jus.

L'emploi de la force centrifuge pour l'extraction du jus de la betterave est contemporain des débuts mêmes de la sucrerie. La betterave réduite en râpures, en faisant couler sur la râpe une certaine quantité d'eau, était introduite dans le centrifuge et y était à plusieurs reprises traitée par une nouvelle quantité d'eau. On obtenait finalement un jus très dilué et une pulpe fort aqueuse. Dès 1856 la force centrifuge fut ainsi employée.

Des essais ont été repris avec la méthode de centrifugation de la râpures mais avec très peu d'eau, par MM. Ronieff et Choumiloff, qui méritent de retenir l'attention: On peut aujourd'hui utiliser des centrifuges d'un rendement très supérieur à celui des anciens appareils ; de plus c'est sous une forme très méthodique que les auteurs appliquent leur procédé dans le détail duquel nous n'entrons pas ; ils obtiennent dans des essais de laboratoire en partant

d'une betterave à 17 % de sucre avec jus dont la composition est :

Brix 22,2, sucre 19,2, pureté 86,5 ;

Un jus de turbinage dont la composition est :

Brix 18,8, sucre 16,36, pureté 87.

(Le jus obtenu est 102% de la betterave mise en œuvre ; l'eau employée représentant moitié du poids de la betterave mise en œuvre).

Les auteurs estiment pouvoir dans un traitement industriel, obtenir les résultats suivants :

Quantité de betteraves travaillées	100
Quantité d'eau	40 à 45 %
Quantité de jus	90 à 95 %
Pulpes épuisées (avec environ 25% de matières sèches)	30 %
Pertes en sucre	8,5 %
Petites eaux	0,0

Les auteurs envisagent les données suivantes pour une marche d'usine traitant 250 tonnes :

Extraction du jus avec 3 turbines Weston ou autres de 1,25 de diamètre traitant 50 kilos de râpures. Les opérations de meichage, turbinage, lavage, vidange et emplissage d'un appareil durant 7 à 8 minutes, on ferait 500 turbinages en 23 heures de travail.

Les avantages du procédé par rapport à la diffusion seraient les suivants :

1° Une consommation d'eau 4 à 5 fois plus faible que celle de la diffusion ;

2° Une quantité de jus inférieure (de 15 à 20 %) et d'une densité plus élevée ;

3° La quantité de résidus sera le tiers de celle des résidus de la diffusion mais avec une teneur en matières sèches 3 fois plus forte ;

4° Suppression des eaux résiduaires.

Nous avons dit que l'emploi de la force centrifuge était contemporaine des débuts de la sucrerie.

Mais depuis cette époque bien des progrès ont été réalisés en mécanique et on dispose aujourd'hui d'appareils centrifuges tout à fait différents de ceux qui existaient alors et il n'est pas interdit d'envisager des solutions nouvelles au problème de l'extraction économique du jus par la force centrifuge.

Enfin dans l'hypothèse des sucreries installées dans des pays

où par suite de l'utilisation des chutes d'eau l'énergie pourrait être à très bas prix, la force centrifuge apparaît comme particulièrement séduisante.

Cependant il ne faut pas demander, en général à un centrifugeur, appareil dynamique d'entretien coûteux, ce que le filtre peut donner.

La dessiccation des cossettes avant l'extraction du sucre qu'elles contiennent.

Le caractère saisonnier de la sucrerie cause à cette industrie un ensemble d'inconvénients qu'on peut ainsi résumer :

1^o Nécessité de l'immobilisation d'un capital disproportionné avec le travail produit, puisque celui-ci doit être réalisé en un temps qui représente au maximum le quart de l'année ; dans les circonstances présentes on réduit d'ailleurs ce temps autant qu'il est possible.

2^o Emploi de main d'œuvre pendant peu de temps d'où difficultés particulière pour la recruter.

L'utilisation d'une partie au moins du matériel de sucrerie en dehors de la campagne n'a pû encore être envisagée.

C'est plutôt vers la recherche des moyens propres à conserver les betteraves pour les travailler pendant toute l'année que des inventeurs ont dirigé leurs efforts. Vers 1838 Schutzenbach desséchait des tranches de betteraves pour les travailler ensuite par des moyens d'ailleurs très différents de ceux employés aujourd'hui.

La dessiccation de la cossette de betterave avant son extraction fut appliquée par Lafeuille qui se proposait d'utiliser des betteraves altérées en Egypte.

C'est en partant des observations suivantes que M. Lafeuille fut amené à son procédé :

La cossette de betteraves devient à la sortie du coupe-racines d'abord rouge puis noire en un temps très court, deux minutes environ. Cette coloration est due à l'action de ferments ; bientôt il se produit une véritable altération du jus qui devient visqueux ; l'inversion du sucre se produit d'ailleurs très rapidement et des fermentations, butyrique et lactique, sont manifestes. La dessicca-

tion de la cossette à l'air libre est impossible (1). Mais si au sortir du coupe-racines on soumet la cossette pendant deux à trois minutes à l'action de gaz extrêmement chauds, on constate, en même temps qu'une rapide dessiccation superficielle se produit, qu'il y a stérilisation et que la cossette ne s'altère plus à l'air, en sorte que sa dessiccation peut être complétée à l'air sans danger.

Le problème est entièrement résolu aujourd'hui. La fabrication du sucre par le procédé de dessiccation des cossettes est entré dans une phase industrielle dont les développements semblent devoir être considérables dans les divers pays sucriers. Il constitue une solution rationnelle là où on crée des sucreries qui peuvent être, pour une production donnée, de dimensions très réduites. Il est d'une application non moins judicieuse dans les pays où sont des sucreries ayant une puissance de production largement suffisante pour le traitement des betteraves disponibles à proximité, parce qu'il leur permet, en installant des sècherics à une distance même très grande dans des régions où la culture de la betterave peut être développée, d'augmenter considérablement la production de l'usine en utilisant son matériel pendant toute l'année.

Au point de vue technique l'intérêt du procédé est double. 1° Par la dessiccation des cossettes on assure leur conservation indéfinie sans altération. Nous en avons déjà signalé les conséquences économiques.

2° On réalise l'insolubilisation dans les pulpes des éléments les plus nuisibles au point de vue de l'extraction. Il en résulte un très gros progrès dans le sens de la simplification du traitement. Nous en verrons les conséquences, quand dans un chapitre suivant nous étudierons la purification des jus.

Mais ce résultat n'est obtenu que si on soumet les cossettes à des conditions bien déterminées de dessiccation, de manière à ce que dans toutes leurs parties une température de l'ordre de 100° soit *réellement* atteinte et *prolongée un temps suffisant*. Il ne faut pas seulement enlever de l'eau (comme on le fait aisément à toute température) ni stériliser superficiellement (ce que l'on peut faire plus ou moins bien en soumettant la matière un temps

(1) Il en est ainsi du moins en Europe, car c'est au contraire en Egypte au soleil, que M. Lafeuille fit ses premiers essais.

quelconque à une température élevée plus ou moins bien définie.)

C'est seulement en observant les conditions mêmes indiquées par M. de Vecchis (Brevet français N° 570863 du 17 décembre 1923, Brevet allemand N° 412.158 du 6 mai 1923) qu'on peut obtenir le résultat cherché et bien entendu sans augmentation du glucose. Ce résultat particulier est obtenu, en Italie même, avec des betteraves très glucosées et a fait l'objet d'un contrôle rigoureux par de nombreux auteurs.

Postérieurement aux réalisations industrielles, de De Vecchis le même problème a été étudié à Oxford et a donné lieu à des discussions sans intérêt au point de vue technique (1).

Divers modèles de fours peuvent être employés et chauffés soit au mazout soit au coke (fig. 33). Sans vouloir anticiper sur ce que nous aurons à exposer plus loin au sujet de l'évaporation des jus de sucrerie nous dirons cependant que la dessiccation des cossettes de betteraves, préalablement à l'extraction du jus par diffusion ordinaire, comporte en fait une évaporation de la grande quantité d'eau que contient la betterave par chauffage direct avec du combustible, tandis que dans le procédé ordinaire on évapore l'eau avec de la vapeur qui a été utilisée comme force motrice. Il y a donc au total avec le nouveau procédé une dépense supplémentaire. Mais celle-ci est largement compensée par divers avantages et, point fort important, on peut employer pour le chauffage du four des combustibles de faible valeur (débris de coke) qui ne sont pas utilisables pour la production de vapeur.

La consommation de mazout en Italie est de 5 k. 5 par 100 kilos de betteraves produisant 57.750 calories ou l'équivalent en calories d'un combustible quelconque. Ces chiffres s'appliquent à des betteraves dont on a enlevé 72 k. 6 d'eau % soit 46.250 calories.

On obtient environ 25 kilos de cossettes sèches par 100 kilos de cossettes humides et la teneur en sucre de ces cossettes est de 62 à 64 % de sucre.

(1) On trouvera dans le *Journal des Fabricants de sucre* du 1^{er} mars 1930 sous la signature de M. D. Bieslaar une étude critique sur le procédé dit d'Oxford donnant d'intéressantes indications sur les conditions de sa naissance, à la suite du procédé de Vecchis et les théories qui furent émises pour en faire ressortir l'originalité.

Nous ne pouvons pas entrer dans le détail de la conduite du four qui doit être contrôlée avec le plus grand soin pour l'obtention du résultat cherché.

On contrôle la coagulation des matières albuminoïdes en levant un échantillon de 20 gr. de cossettes qu'on passe au hache-viande puis écrase au mortier. On fait macérer dans de l'eau à 60° on filtre.

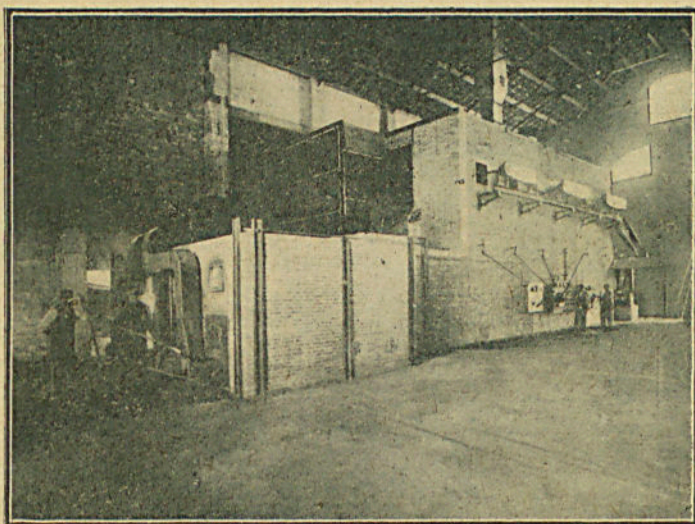


Fig. 33. — Four Scot pour le séchage des pulpes par le procédé de Vecchis (Sanguinetto).

Au filtrat introduit dans un tube à essai on ajoute avec précaution 1 cc d'acide nitrique. La présence d'albumine non coagulée se traduit par la formation d'un anneau jaune.

La conservation des cossettes amenées à une teneur en eau de 8 % est pratiquement illimitée. On peut les emmagasiner dans des magasins ou hangars de construction économique, dont le coût n'est nullement prohibitif en regard des avantages économiques qui sont aujourd'hui sanctionnés par la pratique industrielle du procédé, soit qu'on l'applique à des usines neuves soit qu'on en fasse l'application à des exploitations existantes dont on augmente la production dans une grande mesure. On verra (page 386) le schéma général de l'application du procédé de Vecchis comparé

au procédé ordinaire et la grande simplification qui est apportée par le nouveau procédé.

De plus — et c'est là une considération fort importante — on obtient une marche de la diffusion beaucoup plus régulière. M. de Vecchis a exprimé cette idée que les cellules des betteraves, du fait de la dessiccation particulière à laquelle elles ont été soumises ont leur enveloppe cellulose rompue, en sorte que l'extraction du sucre qu'elles contiennent ne mettrait plus en jeu le phénomène de la dialyse et qu'on se trouve en présence non d'une diffusion mais d'une *lixiviation*. Le fait a été contesté. Peu importe, au point de vue pratique, l'état dans lequel se trouvent les parois cellulaires. Ce qui est certain c'est que l'épuisement des cossettes est très facile. Il peut aisément s'effectuer à la température de 60°. On n'a d'ailleurs pas la crainte constante, qui se manifeste dans la pratique de la diffusion ordinaire, ou d'aller trop vite et alors d'avoir des épaissements insuffisants ou d'aller trop lentement et de retarder la marche de l'usine, en même temps qu'on provoque de la perte dans le diffuseur.

Avec le procédé de Vecchis, quel que soit le temps de la diffusion, comme on travaille sur des produits stérilisés du fait de la dessiccation, on n'a rien à redouter des altérations de produits d'ailleurs plus concentrés. D'autre part comme on n'a à traiter qu'un volume beaucoup moindre de cossettes la capacité de la diffusion est toujours assez grande.

Enfin, si on est plus long à traiter la matière première il n'en résulte pas une perte dans les silos, puisque ladite matière première est sous forme d'un produit inaltérable dans un magasin où son séjour peut être prolongé sans dommage.

La batterie de diffusion servant à l'épuisement des cossettes sèches ne présente pas de particularités. Il est cependant indispensable d'observer certaines conditions en ce qui concerne le chargement des diffuseurs. Ceux-ci doivent recevoir une charge qui correspond assez exactement à 50 kilos de cossettes fraîches par hectolitre de capacité de diffuseur soit environ 12 kilos et demi de cossettes desséchées, si la dessiccation a été telle que 100 kilos des dites cossettes desséchées sont obtenues avec 400 kilos de cossettes fraîches. On effectue un soutirage de 180 lit. environ et on obtient un jus à 51 à 53 Brix.

Les pertes dans les cossettes épuisées et dans les petites eaux sont, ramenées aux cossettes fraîches, sensiblement égales à celles du procédé de diffusion ordinaire.

Mais les petites eaux privées de matières azotées ne s'altèrent pas et à l'usine de Sanguinetto, après examen très sérieux de la question par une commission d'hygiène, l'usine a été autorisée à les déverser dans un ruisseau.

Les Râperies.

Nous avons indiqué dès le début du chapitre consacré à la fabrication, la difficulté d'assurer l'approvisionnement des betteraves et la nécessité de faire de grandes dépenses pour leur transport en raison de l'obligation où on se trouve d'aller chercher fort loin une partie des betteraves.

Un des fabricants de sucre les plus réputés de France vers le milieu du siècle dernier, Linard, eut l'idée de remplacer le transport d'une partie des betteraves par des véhicules, quelconques, par le transport du jus de ces betteraves à l'aide des tuyauteries appropriées. L'idée fut des plus heureuses et donna lieu à de nombreuses applications. Un grand nombre de sucreries importantes ne pratiquent à l'usine même l'extraction que d'une partie des betteraves qu'elles mettent en œuvre ; le reste est traité dans des usines annexes dites *râperies*, éloignées de plusieurs kilomètres de l'usine centrale et lui envoient leurs jus par des canalisations souterraines.

Notons que l'emploi des râperies évite non seulement le transport des betteraves mais encore celui des pulpes que les cultivateurs viennent prendre à la râperie de même qu'ils y ont apporté les betteraves.

Avant la guerre il y avait en France 42 sucreries qui travaillaient avec des râperies ; le nombre total de râperies était de 108 ; la plupart des usines n'ont qu'une râperie mais beaucoup en ont deux ou trois ; la sucrerie de Villenoy près de Meaux en a 14.

Dans certains cas des sociétés sucrières ont racheté des sucreries peu importantes et, n'utilisant que la diffusion et ses annexes, ont transformé ces sucreries en râperies.

Suivant une loi générale dans toute industrie l'intérêt du capital et les frais généraux rapportés à l'unité de matière produite — soit

en l'espèce au sac de sucre — sont plus faibles dans les grandes sucreries que dans les petites. Mais ceci bien entendu à condition que l'approvisionnement soit régulier et que l'usine travaille une quantité de betteraves aussi proche que possible de son maximum.

Dans beaucoup de régions c'est seulement par l'annexion de râperies à la sucrerie qu'on peut assurer l'alimentation d'une quantité suffisante de racines pour que l'usine d'une capacité supérieure à la moyenne de 600 tonnes par vingt-quatre heures puisse être normalement exploitée.

Le transport des cossettes desséchées, qui est aujourd'hui un problème résolu, est plus rationnel que le transport du jus.

Il faut observer que les râperies présentent l'inconvénient de ne permettre l'utilisation que d'une partie des vapeurs d'échappement des machines motrices pour les chauffages ; l'excédent est évacué en pure perte dans l'atmosphère. L'emploi d'un condenseur pour recueillir l'eau de condensation pour l'alimentation des générateurs n'est habituellement pas pratiqué.

Aussi serait-il logique de réduire dans une certaine proportion la quantité de puissance mécanique empruntée à des machines à vapeur installées à la râperie même et de recourir à un transport de force. Cette disposition nécessite pour chaque cas un calcul particulier, et la solution a d'autant plus de chance d'être favorable que la distance est plus courte de la centrale à la râperie. Il va sans dire qu'une force hydraulique produisant l'énergie mécanique pour la râperie est plus avantageuse encore, et c'est là une considération qui peut avoir son importance en France dans l'avenir, si la culture de la betterave s'étend dans des régions où la force hydraulique est d'emploi facile.

M. Caron (Les économies de vapeur dans l'Industrie sucrière. Société d'encouragement pour l'Industrie nationale, mars 1923) envisage, pour diminuer les pertes de vapeur dans les râperies, des moyens qu'il qualifie d'artificiels et qui n'ont fait encore l'objet d'aucune application.

Le premier de ces moyens consisterait à n'installer à la râperie que la force motrice correspondant à celle dont on peut utiliser la vapeur d'échappement ; le complément serait fourni par transport de force. Le second de ces moyens consisterait à faire un commencement d'évaporation de jus à la râperie. On voit aisément qu'une complication importante du matériel de la râperie résulterait de l'application de ce procédé ; or on cherche avant tout à ne réaliser dans la râperie que des installations simples et de conduite facile, avec un personnel restreint.

CHAPITRE III

LES PULPES DE SUCRERIE

Vidange des diffuseurs et Évacuation des pulpes.

Revenons au travail de la diffusion, qu'il s'agisse de la batterie de l'usine centrale ou de la batterie installée dans une râperie.

Lorsqu'un diffuseur est épuisé on ouvre la porte du fond et on fait tomber les cossettes épuisées, qu'on appelle pulpes de diffusion, dans une fosse placée au-dessous de la batterie. Elles forment une bouillie fluide très aqueuse.

La fosse a naturellement une forme différente suivant qu'il s'agit d'une batterie circulaire ou d'une batterie en lignes. Dans le premier cas elle affecte la forme d'un cône renversé ; parfois elle est revêtue de plaques de tôle ; on les fait maintenant de préférence en maçonnerie de ciment.

Dans le cas des batteries en lignes la fosse est formée de caniveaux en maçonnerie. La pente des surfaces sur lesquelles glissent les betteraves est de 12 %. Il y en a deux dans les batteries en double ligne.

La vidange des diffuseurs est plus difficile lorsque ceux-ci sont à porte latérale. Dans ce cas on a recours à l'emploi d'une chasse d'eau qui est faite par une tubulure qui débouche au-dessus de la tôle perforée et qui traverse la paroi du diffuseur en un point opposé à la porte.

Les pulpes forment dans la fosse un milieu très fermentescible en raison de la température et de l'état de dilution. Elles doivent être évacuées rapidement et complètement ; des lavages fréquents de la fosse à l'eau de chaux sont nécessaires.

A la partie la plus basse de la fosse où les pulpes s'accablent elles sont prises par un élévateur à godets incliné qui les remonte au-dessus des presses. Les godets sont formés par des fourches assujetties ensemble de façon à former un système à claire voie qui laisse égoutter une grande partie de l'eau pendant l'ascension.

On a essayé, sans grand succès semble-t-il, pour éviter la fosse à pulpes d'envoyer tout le contenu du diffuseur dans un récipient unique au-dessus des presses à l'aide de l'air comprimé; la porte du diffuseur est, dans ce système (système Pfeiffer) remplacée par un fond en forme d'entonnoir, fermé par une soupape, auquel est adapté une grosse tuyauterie remontant vers le récipient.

Le système *Félix* consiste à aspirer dans la fosse l'eau et les cossettes amenées à l'état de mélange intime à l'aide d'un délayeur à palettes; le mélange est aspiré par une pompe centrifuge spécialement construite pour cet usage et refoulé dans un séparateur au-dessus des presses.

Ce séparateur est formé d'une hélice inclinée se mouvant dans une auge en tôle à double fond; par un fond perforé l'eau s'égoutte. Un système de trop plein ramène à la fosse une partie de l'eau pour y maintenir un niveau constant.

Ce système permet d'envoyer les pulpes à des presses installées loin de la batterie de diffusion, en un point qui rend l'évacuation des pulpes pressées facile. C'est un système breveté ce que, paraît-il, certains fabricants ont méconnu. Il a été installé dans un certain nombre de grandes sucreries reconstruites.

Utilisation des pulpes.

Les pulpes formant le résidu de la diffusion constituent un sous-produit dont la valeur relative paraît devoir augmenter au fur et à mesure que la concurrence mondiale tendra à obliger le fabricant à diminuer de plus en plus le coût de sa production.

Il faut reconnaître que l'utilisation qui en est faite actuellement dans l'immense majorité des cas par la culture est loin d'être rationnelle; la sucrerie la livre en effet à la culture sous forme d'une masse contenant 90 % d'eau. Malgré tout ce qui a été dit et écrit sur ce sujet les agriculteurs ont toujours fait une opposition à la présentation des pulpes sous une forme qui permettrait à la su-

crierie d'en pratiquer plus avantageusement le commerce. Il semble bien cependant en définitive que si 1^o par la possibilité de sa conservation sans gaspillage d'une partie importante de ses éléments nutritifs ; 2^o par la suppression d'inconvénients très réels résultant de son altération ; 3^o par une grosse économie de frais de transport, on donne à ce sous-produit une valeur plus grande, le bénéfice qui en résultera pour le fabricant de sucre profitera bien aussi au cultivateur.

Cette opposition à l'emploi d'un procédé rationnel est un des épisodes les plus caractéristiques de la lutte entre le cultivateur et le fabricant dont le consommateur fait toujours les frais et dont souffre l'intérêt général.

Les cultivateurs qui fournissent les betteraves exigent habituellement qu'il leur soit livré cinq cents kilos de pulpes par tonne de betteraves fournies. Le prix de cette pulpe était avant la guerre d'environ 7 fr. la tonne.

Il est impossible d'indiquer sa valeur actuelle en raison des fluctuations dues à l'abondance ou à la pénurie de récolte des fourrages.

Pressage des pulpes.

Quelle que soit la manière dont on utilise les pulpes à la sortie des diffuseurs elles sont dans un état tel qu'elles doivent subir une pression pour qu'on en élimine d'abord la plus grande quantité de l'eau qu'elles contiennent.

En moyenne 1 tonne de cossettes de betteraves donne 1.020 kilos de pulpes épuisées, qui contiennent 56 kilos de matières sèches, Ces chiffres varient dans de certaines limites en raison de la proportion de jus que contient la betterave, et aussi selon le mode de vidange des diffuseurs.

Dans une série d'essais faits par Zscheje (1902. Bull. Ass. Chim.) on trouve des chiffres compris entre 106 et 97 % des cossettes.

Si donc on sort des presses à pulpes des pulpes qui contiennent 10,25 % de matières sèches, chiffre qui correspond à une moyenne, on aura par tonne de betteraves travaillées 546 kilogs de pulpes pressées. Lorsqu'on diminue la pression et qu'on laisse plus d'eau on a une augmentation très considérable de ce rendement de pulpes au détriment de la teneur en matière sèche.

Lorsqu'il évacue ses pulpes à l'état humide en les livrant au cultivateur fournisseur de betteraves, comme c'est le cas général, le fabricant de sucre n'est habituellement pas incité à les presser aussi fortement que lorsqu'il les sèchera ultérieurement.

Il serait équitable, de même que la betterave est achetée au cultivateur selon sa teneur en sucre — ou ce qui revient sensiblement au même selon la densité de son jus — que la pulpe lui fut vendue avec garantie de sa teneur en eau.

Aussi est-elle parfaitement légitime la décision prise en 1905 par le Syndicat des agriculteurs du Nord invitant tous les cultivateurs à exiger l'introduction dans leurs contrats de betteraves de la clause suivante :

« La pulpe de diffusion contiendra au moins 10 % de matières sèches et sera payée le prix de Chaque centième de matière sèche constatée en moins entraînera une réduction de 0,50 par 1.000 kilos ; à partir de 6 % de matières sèches la pulpe pourra être refusée ».

Mais ce n'est pas une telle réglementation qui peut constituer une solution logique susceptible d'améliorer beaucoup la situation actuelle ; seul le séchage est rationnel.

Bien entendu les pulpes, pour une même pression, perdent d'autant plus d'eau qu'elles sont plus chaudes. C'est une question de viscosité de l'eau, qui diminue beaucoup avec la température.

D'autre part les pulpes se comportent de manière différente à la pression selon le travail à la diffusion. Les pulpes provenant d'une diffusion faite à allure très chaude se pressent mal, surtout si on les presse après qu'elles ont été refroidies.

La diffusion à température élevée donne des pulpes à plus grande valeur alimentaire, parce que les matières albuminoïdes ont été coagulées dans une plus grande proportion et ainsi se trouvent en quantité un peu plus grande ; mais en réalité la différence est peu appréciable.

Au contraire la différence est considérable entre les pulpes qui proviennent du procédé ordinaire de diffusion et les pulpes qui sont obtenues dans le procédé de Vecchis car celles-ci doivent contenir la totalité des matières albuminoïdes qui se trouvent dans la betterave ; au lieu d'être nuisibles dans les jus elles sont utiles dans la pulpe.

Les pulpes du procédé de Vecchis contiennent en outre des matières sèches hydrocarbonées insolubilisées.

Au total selon des analyses du professeur Mezzadrolì les différentes sortes de pulpes présentent les différences suivantes en matière sèche % de pulpe humide :

pulpe ordinaire	pulpe de Vecchis
4,5 %	7,0 %

Le rendement en pulpe humide par le procédé de Vecchis est de 80 % de la betterave tandis que pour les mêmes betteraves il est de

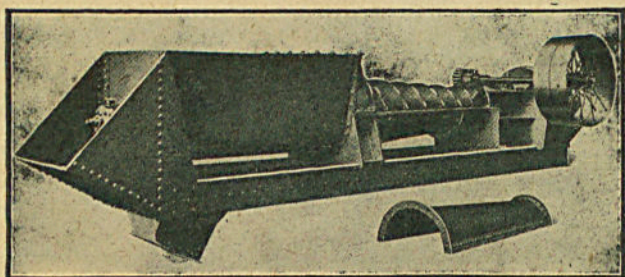


Fig. 34. — Hélice presseuse pour pulpes.

90 %. Si on déduit de ces chiffres la quantité de matière % de betteraves on trouve respectivement pour la pulpe ordinaire et la pulpe de Vecchis 4,05 et 5,6 la différence 1,55 indique précisément la quantité de matière insolubilisée par la dessiccation et qui se retrouve dans la pulpe.

Presses à pulpes.

Les pulpes subissent d'abord au sortir des diffuseurs une pression préalable dans les hélices qui les évacuent à la fosse à pulpe.

On peut effectuer la totalité de la pression à l'aide d'une hélice par une disposition particulière de cette hélice qui lui permet de résister à la pression (fig. 34). Il vaut mieux cependant n'employer cet appareil que pour pratiquer une pression préparatoire et compléter celle-ci avec une presse à pulpes, dont nous décrivons ci-dessous les principaux modèles.

Presse Klusemann. — C'est le type même de la presse à pulpe d'où dérivent divers modèles. Cet appareil est essentiellement formé par un cylindre vertical de très forte tôle perforée dans lequel tourne lentement un cône à axe vertical sur lequel sont fixées des palettes disposées en hélice. La grande base du cône est placée à la partie inférieure du cylindre ; en sorte que les pulpes amenées à la partie supérieure du cylindre ont à leur disposition une capacité de plus en plus réduite, au fur et à mesure de la réduction de volume qu'elles subissent par la pression que leur font subir les palettes en les entraînant contre la tôle perforée.

Cette presse présente un inconvénient notable qui en diminue sensiblement le rendement, du fait de l'entraînement de la pulpe par le mouvement de rotation : une importante partie de la dépense de force motrice est consommée en frottements de la pulpe sur elle-même ou sur les parois plutôt qu'à exercer une pression efficace.

La presse Klusemann peut travailler de 60 à 70 tonnes de betteraves par vingt-quatre heures.

On lui a fait subir diverses modifications, notamment celle de Buttner et Meyer qui voulaient avoir des pulpes beaucoup plus sèches que celles obtenues avec la presse ordinaire pour les dessécher ensuite. La modification consiste surtout à allonger le tronc de cône, et le cylindre filtrant et réduire la section de l'orifice de sortie.

Presse Bergreen. — Cette presse est plus perfectionnée que la précédente, elle est d'un mécanisme d'ailleurs sensiblement plus compliqué : elle comporte deux arbres concentriques tournant en sens inverse. L'arbre extérieur est conique comme celui de la presse Klusemann et, comme lui, porte des bras en hélice ; l'arbre intérieur porte à sa partie inférieure, une partie cylindrique venant dans le prolongement du précédent et muni de spires qui sont contraires au pas des palettes et annulent le mouvement de rotation que celles-ci pourraient imprimer à la masse. La matière est exclusivement entraînée dans le sens de la translation de haut en bas, qui seule peut amener un effet utile.

Une pression plus forte donnée à la pulpe avec cette presse a pour effet de l'émietter, parce que la pulpe est soumise à une forte pression, à la partie inférieure de l'appareil, alors qu'elle est déjà sèche, c'est-à-dire cassante. Une modification a été faite au type

primitif pour éviter cet inconvénient (sensible seulement quand on sèche la pulpe, car alors les fragments trop menus forment de la poussière). Cette modification consiste à supprimer la partie conique

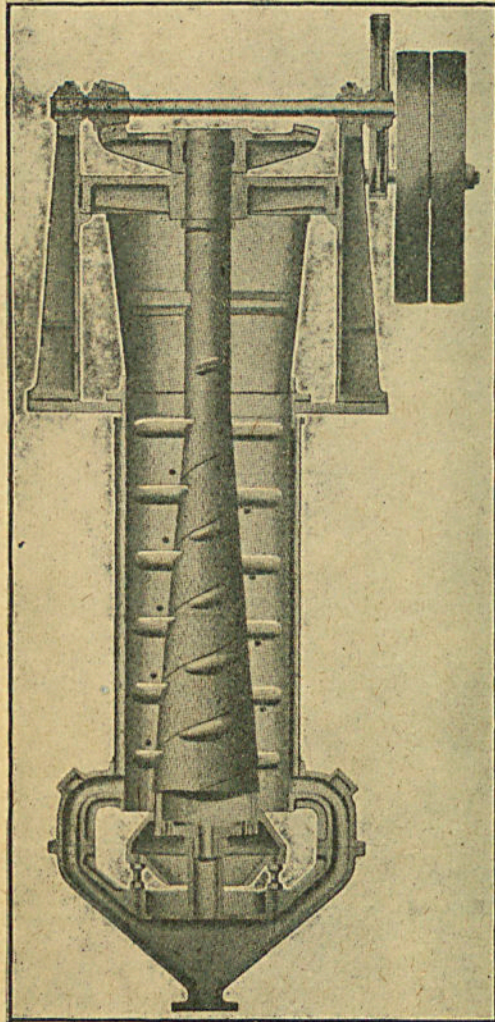


Fig. 35. — Presse à pulpes Bergreen (Coupe).

inférieure et à la remplacer par une partie cylindrique.

La puissance de travail d'une presse Bergreen correspond

à 120 à 150 tonnes de betteraves par 24 heures. Bien souvent les sucreries ont une installation de presses qui ne correspond pas aux puissances de travail de ces appareils que nous indiquons ici, mais c'est au détriment de la dessiccation des pulpes qui sortent avec une quantité d'eau exagérée.

On peut en effet, par le réglage des presses, faire varier leur rendement, c'est-à-dire la quantité de pulpes produites, mais c'est

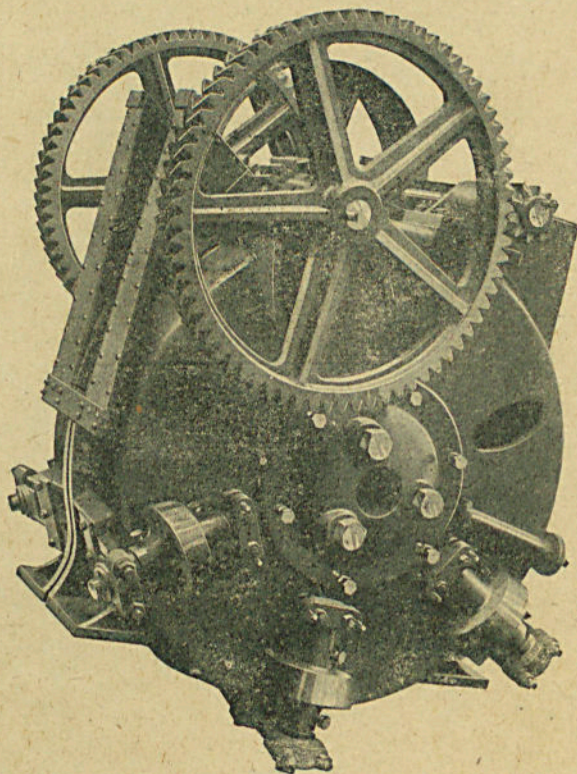


Fig. 36. — Presse Selwig (Établissements Maguin).

au détriment de la qualité du travail, ou plus exactement au détriment de celui qui achète les pulpes.

La presse *Bendel*, basée sur le principe de la presse Klusemann, comporte un perfectionnement notable qui assure le réglage automatique. On détermine une fois pour toutes la teneur de matières sèches qu'on veut obtenir. Une presse Bendel assure la production

de pulpes de 125 tonnes de betteraves par 24 heures qui sortent avec une composition constante.

La presse *Bromberg* comporte un arbre conique creux dont la paroi est perforée, qui tourne à l'intérieur d'un cylindre creux dont la paroi est également perforée. Cette disposition produit une meilleure évacuation des eaux de pression. Cette évacuation est assurée pour les eaux qui traversent le cône central par un entonnoir qui

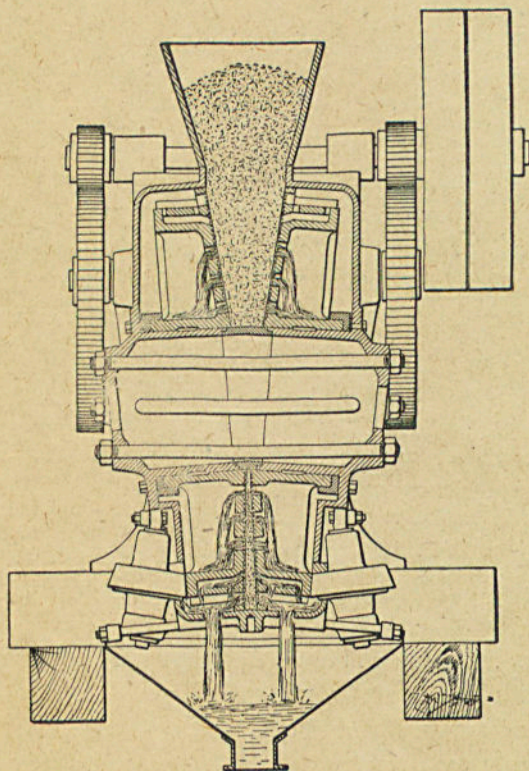


Fig. 37. — Presse Bromberg. Coupe (Établissements Maguin).

les recueille à la partie inférieure et pour celles qui traversent le cylindre par des tuyaux adducteurs. (fig. 37)

La presse Bromberg est capable d'exercer des pressions beaucoup plus considérables que les autres modèles ci-dessus décrits.

Presse Selvig et Lange. — Dans cet appareil la pulpe humide au sortir d'une trémie est prise par deux disques évidés portant

une tôle perforée ; ces disques ne sont pas dans des plans parallèles mais forment au contraire un angle obtus ; ils entraînent ainsi la matière dans un espace de plus en plus restreint où elle se trouve fortement pressée. Un râcloir fait tomber la pulpe des disques tandis que l'eau passe à travers les tôles perforées (fig. 36).

Récupération des pulpes fines.

Quel que soit le système employé, les eaux qui s'écoulent contiennent des quantités plus ou moins importantes de pulpe fine en suspension. Bien entendu plus la pression est forte plus la quantité de pulpe entraînée est importante, à supposer qu'on ait des tôles ou parois perforées en bon état et de la dimension convenable.

Ces pulpes fines constituent une assez importante perte de matière qu'on s'efforce de récupérer par l'emploi d'un épulpeur.

Elle est assez variable d'ailleurs, puisque dans des essais faits à Abbeville M. E. Saillard a trouvé de 30 à 110 gr. par litre. On conçoit combien doit être grande en effet la variation de ces chiffres, puisque indépendamment du mode même de pression, la quantité de pulpe fine est influencée à la fois par les conditions de la diffusion et par la nature même des betteraves, qui est surtout sous la dépendance des conditions climatologiques.

On récupère une proportion plus ou moins importante de ces pulpes suivant leur nature et l'épulpeur employé.

On peut employer un quelconque de ces épulpeurs auxquels on a recours pour l'épulpage des jus de diffusion dont nous parlerons plus loin.

L'appareil le plus employé (Epulpeur Wagner) est formé par un tambour rotatif en tôle perforée. L'eau à traiter est amenée par un tuyau ouvert longitudinalement qui déverse le liquide suivant une génératrice du tambour : l'eau passe au travers du tambour, la pulpe reste sur la paroi et est entraînée vers un râcloir qui la recueille. Elle reste en tas auprès de l'appareil ou, si l'installation est importante, est entraînée par une hélice sur le tas de pulpes pressées.

Les pertes de matière à l'état dissous par les eaux de presse sont importantes. Mais elles représentent un pourcentage très variable selon les conditions de la diffusion. D'après Herzfeld lorsque la diffusion est très chaude et qu'on envoie de l'eau chaude dans

le dernier diffuseur la perte peut aller jusqu'à 17 % de la matière sèche des pulpes et 12 % de la matière albuminoïde. Si au contraire la diffusion est faite à température très basse et avec envoi d'eau froide dans le diffuseur de queue la perte est comprise entre 2 et 3 %.

La pression des pulpes est facilitée par l'addition de lait de chaux, mais il y a augmentation de la perte de matières en solution. L'addition de chaux (on emploie environ cinq litres de lait à 10 Baumé par tonne de betteraves) est sans inconvénient au point de vue de la nourriture du bétail, mais par contre les pulpes alcalinisées se conservent moins bien en silos. Aussi l'addition de lait de chaux doit-elle être réservée au cas où on a recours à la dessiccation des pulpes, à moins qu'on les amène à un p H convenable.

Utilisation de l'eau des presses à pulpes.

Claassen dans sa conférence de 1915 aux techniciens de Magdebourg adjurant l'industrie sucrière de ne laisser perdre aucune substance nutritive, fait remarquer que l'eau résiduaire de la diffusion entraîne une perte qui n'est pas inférieure à 0,4 % de substances sèches ; cela représente 600.000 quintaux métriques de matières nutritives digestibles qui séchées représenteraient selon l'auteur une valeur de 5 millions de marks (en valeur 1915).

M. G. Duret a fait breveter un procédé d'utilisation pour la nourriture des animaux des eaux de presses à pulpes après concentration.

Les eaux de presses à pulpes sont les plus difficiles à épurer des eaux résiduaires de sucrerie ; leur richesse en matières pectiques et en matières protéiques en rend prompte la fermentation et malodorants les produits de cette fermentation.

Leur composition est sensiblement la suivante : par litre

Sucre 4 à 5 gr.
Azote total 0 gr, 20 à 0 gr, 26.
Cendres 0 gr, 9 à 1 gr, 3.
Matières organiques non azotées 4 à 6 gr.

Selon que l'épulpage a été plus ou moins bien fait, la teneur en matières solides en suspension varie de 5 à 20 gr.

Ce procédé éviterait donc l'épuration de ces eaux et à condi-

tion que l'évaporation en soit économique apporterait des profits importants.

Une conséquence assez importante de l'insolubilisation totale de la matière azotée produite dans les pulpes du procédé de Vecchis c'est que les eaux de presse ne donnent pas lieu à la décomposition de cette matière à la suite de fermentations qui, produisant de mauvaises odeurs et contaminant les cours d'eau cause aux fabriques de très gros ennuis et les obligent à des épurations coûteuses.

Dessiccation des Pulpes.

Les études qui mettent en évidence la perte importante que cause à l'agriculture les modes ordinaires de conservation des pulpes sont nombreuses et anciennes. On les trouve résumées dans une communication à la société d'Alimentation rationnelle du Bétail qui remonte à 1904 (*L'alimentation hygiénique et économique des Bovidés par les pulpes de sucrerie desséchées* par E. Curot et Ch. Quillard).

Des expériences précises (Gay et Le Flé) ont montré que la perte moyenne de matière dans un ensilage de 4 mois est de 33 %. Marcker en Allemagne est arrivé à une conclusion de même ordre.

C'est depuis 1883 que la question de la dessiccation des pulpes est à l'étude en Allemagne et depuis 1887 qu'elle est pratiquement réalisée. En 1914 environ 35 % des pulpes produites dans ce pays étaient desséchées. A la même époque en France quelques usines seulement la pratiquent. Malgré les efforts des techniciens et des hygiénistes la situation ne se modifie pas.

Il y aurait cependant un réel intérêt à ne pas laisser perdre de précieuses matières et à produire de meilleur lait, en séchant non la totalité des pulpes mais tout ce qui ne peut être consommé rapidement et à proximité des lieux de production.

Les divers systèmes d'appareils à dessécher les pulpes.

1° On utilise surtout des appareils dans lesquels la dessiccation est produite par les gaz chauds des foyers.

Appareil Buttner et Meyer. — Le four Buttner et Meyer appliqué en Allemagne en 1887 est caractérisé par trois étages de chambres à dessiccation ; dans chacune d'elles sont disposées des palettes qui soulèvent la pulpe la projettent en l'air et ainsi l'exposent sans cesse à l'action des gaz chauds qui circulent autour.

Les palettes sont montées sur des arbres animés d'un mouvement de rotation de 20 tours à la minute ; disposées en hélice ces palettes font cheminer les pulpes maintenues dans des auges en maçonnerie.

Les pulpes sont introduites humides dans la chambre supérieure ; quand elles ont parcouru sous l'action des hélices toute la longueur de cette chambre elles tombent dans la chambre intermédiaire où elles sont soumises au même traitement et cheminent en sens inverse, puis ensuite tombent dans la chambre inférieure et sont enfin recueillies en bas par une vis sans fin. Les gaz chauds circulent, d'une façon non méthodique d'ailleurs, dans le même sens que la matière à dessécher. Ils sont, ainsi que la vapeur d'eau, aspirés par un ventilateur ; les débris et poussières diverses entraînées sont séparées par un appareil cyclone et recueillis à part.

Pour éviter l'action fâcheuse des fumées sur les pulpes desséchées on a installé en divers pays des appareils de la firme Buttner Werke (Nerdingen) qui sont chauffés à l'huile minérale. Le constructeur peut transformer les foyers ordinaires pour qu'ils soient aptes à être employés avec ce combustible sans fumée. Selon les constructeurs la plus grande installation du monde, fonctionnant aux Etats-Unis serait chauffée par ce procédé.

Séchoir rotatif. Système Devaux. — Cet appareil est formé par un tambour rotatif que traversent les gaz chauds provenant d'un foyer ; les gaz sont aspirés par un ventilateur placé à la sortie du tambour. Dans l'intérieur du tambour, des palettes et des chicanes assurent l'agitation des pulpes à sécher et leur cheminement du côté du foyer où on les introduit vers le côté du ventilateur où on les évacue.

D'autres séchoirs, basés sur le même principe, ont été construits aussi en Allemagne (Meyer et Buttner etc.).

Des variantes plus ou moins importantes ont été apportées au système de cylindre rotatif.

Dans l'appareil *Petry et Hecking* on emploie deux cylindres concentriques rotatifs. Dans le cylindre intérieur on fait arriver les gaz chauds et les pulpes humides ; dans ce cylindre les pulpes perdent environ moitié de leur eau. Lorsqu'elles sont arrivées à l'extrémité du cylindre opposé à leur entrée elles tombent dans le second cylindre extérieur.

La dessiccation des pulpes peut se faire par un procédé qui combine les deux modes de déplacement relatif des gaz et des pulpes, courant parallèle et contre-courant.

Dans le système *Puvrez de Goulart et Goffin* (qui a été installé récemment dans une sucrerie de Saragosse par Breitfeld Danek) l'installation comprend deux tambours rotatifs en tôle de 17 m. environ placés parallèlement et fonctionnant individuellement. Les tambours sont enfermés dans une chambre en maçonnerie sauf les parties qui reposent sur les galets. Les gaz des générateurs arrivent dans une chambre ménagée à l'avant du cylindre ; l'arrière aboutit dans une autre chambre où aspire un ventilateur qui refoule dans un grand réservoir tronconique d'où les vapeurs sont refohlées vers le toit avec les gaz refroidis. La pulpe déjà desséchée et qui contient 46 % de matières sèches (au lieu de 15 % à la sortie des presses) arrive alors au contact d'une portion nouvelle des gaz à la température de sortie des chaufferies et marche en sens inverse.

Les gaz sortent des carneaux des générateurs à 230° ils sortent du parcours parallèle aux pulpes à 100°, et ceux qui sortent du parcours en sens inverse ont 60°. La pulpe sort à 88 % de matières sèches.

Appareil Huillard. — Le procédé Huillard a donné lieu à de nombreuses applications. Il est basé sur un principe particulièrement économique, car à la différence des appareils dont nous avons parlé jusqu'ici il ne comporte pas de foyer spécial mais utilise les chaleurs perdues des gaz des générateurs qui vont à la cheminée.

Il est formé d'un cylindre vertical en maçonnerie de 10 à 12 m. de haut. Des cloisons intérieures le divisent en étages ; ces cloisons sont en tôle perforée et une large ouverture est ménagée à leur centre. Dans l'axe du four se trouve un arbre vertical muni, à chaque hauteur correspondant à l'étage, d'un tronc de cône de distribution et des palettes.

Séchoirs Vernon. — Les séchoirs *Vernon* fonctionnent les uns par chaleurs perdues les autres par foyers séparés, ceux-ci pouvant d'ailleurs être alimentés par grilles ordinaires, par grilles automatiques ou par combustion de charbon pulvérisé.

Certains appareils sont constitués par des plateaux horizontaux perforés qui se meuvent dans un massif de maçonnerie vertical où pénètrent les gaz des foyers. Les pulpes humides sont

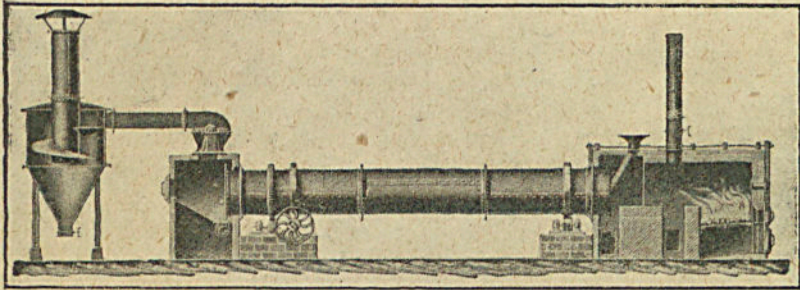


Fig. 38. — Séchoir rotatif *Vernon*. Vue en coupe.

amenées à la partie supérieure et descendent jusqu'au niveau du sol où elles arrivent sèches.

D'autres appareils (fig. 38) sont constitués par un cylindre de tôle horizontale ou plutôt légèrement incliné pour faciliter la translation des pulpes. Le cylindre est animé d'un mouvement de rotation ; il est garni d'ailettes qui assurent un bon brassage des pulpes. La fig. 39, en montre la disposition. Un ventilateur placé à l'extrémité opposée au foyer aspire les vapeurs.

Ajoutons que la facilité de réglage de ces appareils rotatifs semble les rendre particulièrement aptes, avec des modifications convenables, à la dessiccation des cossettes.

2° Appareils par chauffage à la vapeur.

L'emploi des fours à foyer présente évidemment un inconvénient général qui est de souiller plus ou moins les pulpes par les produits de la combustion en contact avec lesquels ces pulpes se trouvent nécessairement. On y pallie plus ou moins complètement par l'emploi de chambres de dépôt où se réunissent les produits solides entraînés par les gaz ; on doit aussi employer des charbons qui contiennent un taux peu élevé de matières volatiles.

Aussi malgré la simplicité relative de leur installation par rapport aux appareils de chauffage à vapeur, ceux-ci sont-ils parfois employés. Nous décrirons sommairement les principaux.

Le plus ancien est le *séchoir Sperber*.

C'est un appareil de construction assez compliquée qui comprend un système de faisceaux tubulaires tournants dans lesquels circule la vapeur. Ces faisceaux sont placés dans des auges qui con-

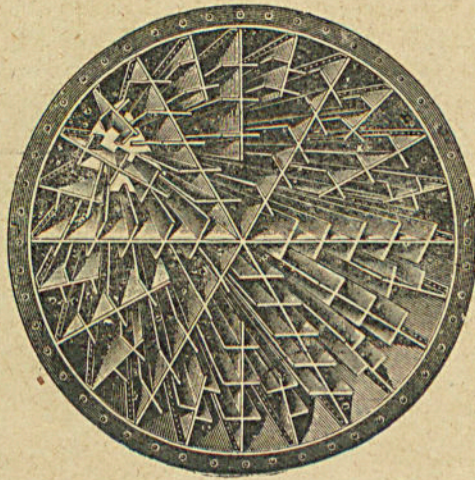


Fig. 39. — Vue intérieure du séchoir rotatif Vernon montrant la disposition des ailettes.

tiennent la pulpe à sécher. On emploie de la vapeur d'échappement et de la vapeur directe à 1,5 ou 2 kilos. Une active circulation d'air enlève la vapeur au fur et à mesure de son dégagement de la pulpe en séchage.

Mélassage des Cossettes épuisées.

On pratique parfois le mélassage des cossettes épuisées avant leur dessiccation ; on obtient ainsi après dessiccation une sorte de fourrage qui est d'un emploi avantageux pour la culture. C'est en somme une betterave dont le sucre aisément extractible par l'industrie sucrière est utilisé pour l'alimentation humaine, la totalité de ce qui reste allant directement à l'agriculture. C'est par conséquent une solution rationnelle.

Voici un exemple de cette fabrication telle qu'elle est effectuée à la sucrerie anglaise de Kelmann.

Les cossettes à leur sortie des presses sont mélangées avec de la mélasse et le tout est envoyé au séchoir.

La cossette mélassée sèche a une composition analogue à la suivante :

Humidité	11, 80
Sucres	22, 40
Matières azotées	8, 59
Matières cellulosiques	51, 60
Cendres	5, 70

Procédé biologique de conservation des Pulpes. — A défaut d'un mode de conservation qui évite toutes pertes et tous inconvénients hygiéniques on peut réduire l'altération des pulpes par l'emploi du *lacto-pulpe* ou ferment lactique préconisé par M. Crolbois et M. Bouillant. Des essais ont été faits dès 1909 à Rouvillers (Oise). Des vœux tendant à la généralisation de son emploi ont été émis par la Société de Médecine Vétérinaire pratique et par le Comité Départemental d'Hygiène du Département du Nord. A la suite de ce dernier le Préfet du Nord prit un arrêté prescrivant son emploi d'où protestations des intéressés fabricants de sucre et distillateurs. Des expériences furent entreprises sous les auspices du Conseil d'hygiène du Nord. M. Saillard en a rendu compte dans la circulaire hebdomadaire du Syndicat des Fabricants de sucre, 9 déc. 1923. Sans reconnaître aux essais entrepris un caractère définitif l'auteur signale qu'il y a des cas où l'ensemencement des pulpes a donné de bons résultats non seulement en France mais encore à l'Étranger.

Salage des pulpes. — M. Moussu a préconisé l'addition de 200 gr. de sel marin par cent kilos de pulpes pour en faciliter la conservation tout en augmentant l'appétence des animaux.

CHAPITRE IV

EAUX RÉSIDUAIRES

Généralités.

La question des eaux résiduaires est parfois une source de difficultés très grandes pour l'industrie sucrière. Ces eaux plus ou moins chargées de matières putrescibles ne peuvent être déversées dans les cours d'eaux avant d'avoir subi une épuration. Les conditions diverses du travail, notamment l'emploi plus ou moins développé des transporteurs hydrauliques donnent lieu à des consommations d'eau très variables. Notons enfin que la suppression du condenseur réalisée par la pratique de l'évaporation sous pression a pour conséquence une économie d'eau très importante. Au total c'est entre les limites de 3 à 15 mètres cubes d'eau par tonne de betteraves travaillées qu'il faut évaluer la consommation d'eau.

Les diverses sortes d'eaux résiduaires.

Il faut distinguer les eaux résiduaires suivant leur origine, car elles sont fort dissemblables au point de vue de l'épuration qu'il est possible de leur faire subir et des difficultés que peut causer leur évacuation.

Les *eaux des lavoirs à betteraves* ont tout d'abord besoin d'une clarification purement mécanique pour les débarrasser des matières en suspension. Des bassins de décantation l'effectuent, d'où on peut les extraire suffisamment claires pour être réemployées ou mieux, lorsqu'on n'est pas tenu à cet expédient par suite d'un déficit d'eau, la simple aération y produit une épuration suffisante pour que ces eaux puissent être rejetées dans les cours d'eau.

Les eaux boueuses, avant leur évacuation vers les bassins de décantation ne doivent pas être laissées en repos, sinon les matières argileuses et sableuses qu'elles contiennent se déposent. Elles sont donc reçues dans une fosse munie d'un agitateur, d'où elles sont enlevées le plus souvent par une pompe centrifuge et évacuées vers les bassins de décantation.

Lorsque la sucrerie ne dispose pas de terrains pour les bassins de décantation, on emploie un décanteur à eaux boueuses (système Cail) qui permet de réduire à l'extrême la dimension des fosses à boues.

Le décanteur se compose d'un cône à boues dont la pointe est tournée vers le sol ; à la partie supérieure une noyère circulaire munie d'une vanne sert à la prise de l'eau décantée. Une soupape de chasse de la boue est disposée à la partie inférieure. L'ensemble est supporté par des colonnes de fonte.

Les *eaux de vidange de la diffusion* et à plus forte raison les *eaux du condenseur* dont nous parlerons plus loin n'ont besoin que d'être aérées pour pouvoir être rejetées aux cours d'eau.

C'est en ce qui concerne les *eaux des presses* qu'une épuration complète s'impose. Deux solutions sont habituellement employées : ou une épuration de ces eaux seules, ou avec un certain volume d'eau des lavoirs, ou le mélange de l'ensemble des eaux de manière à avoir un produit total qui peut, en raison de la dilution des éléments fermentescibles, être évacué sans épuration. Mais c'est là une solution précaire qui donne lieu à des réclamations que le souci d'hygiène de plus en plus grand rend croissantes. Bien entendu c'est seulement avec des eaux décantées qu'il faut effectuer le mélange.

Epandage.

L'épuration des eaux des presses seules se fait le plus communément par épandage. C'est en réalité le seul moyen pratique de réaliser avec le minimum de dépense une épuration chimique complète dont se chargent les ferments du sol.

L'épandage se pratique suivant la nature du sol à des taux qui vont de 500 à 1.000 mètres cubes d'eau par hectare. En dehors des cultures, sur des prairies naturelles on arrive à doubler cette dose.

On voit que pour une sucrerie importante il faut des surfaces extrêmement considérables pour pratiquer l'épandage rationnellement. Aussi a-t-on cherché différents procédés d'épuration des eaux résiduaires qui ont donné des résultats assez variables.

Tout d'abord, en application des principes mêmes qui sont mis en œuvre dans l'épandage, on peut recourir à l'emploi des lits bactériens. Ils sont constitués par des couches successives de matériaux de plus en plus grossiers, les plus fins étant à la partie inférieure, formant une hauteur totale de 2 mètres environ. Le fond est formé d'argile damée ou même d'un béton léger.

Les eaux des presses doivent être soigneusement épulpées pour pouvoir être soumises utilement à ce mode d'épuration. Il y a cependant des difficultés dues au colmatage des lits qui se sont opposées au développement de ce procédé si séduisant cependant.

Traitements chimiques et antiseptiques.

On a parfois recours (à la sucrerie de Guignicourt par exemple) à l'emploi d'antiseptiques (chlorure de chaux) pour éviter dans les bassins de décantation le dégagement de mauvaise odeur.

Divers procédés chimiques ont été aussi employés sans que, au total, aucun d'eux puisse se généraliser et se substituer à l'épandage. C'est surtout quand on procède au réemploi des eaux que ces modes d'épuration basés sur des réactions chimiques peuvent être utilisés avec quelque avantage.

On emploie à la sucrerie de Froyères un mode d'épuration des eaux qui a fait l'objet d'une description dans la *Circulaire hebdomadaire du Syndicat des fabricants de sucre* du 23 février 1923, par Emile Saillard. Il est basé sur l'emploi de la chaux et du sulfate de fer.

Nous citerons encore le procédé Hoyermann-Welhensieck employé dans des sucreries allemandes, qui consiste à traiter les eaux avant leur envoi à la décantation par des matières humiques et de la chaux.

Mais il convient de retenir tout particulièrement la méthode qui consiste, au lieu de détruire tout ou partie des matières fermentescibles des eaux de presse, de les recueillir et d'utiliser la valeur alimentaire de ces matières. C'est bien là la manière la plus ration-

nelle d'épuration et elle est recommandable, même si le procédé employé pour effectuer cette récupération coûtait plus que ne représente la valeur réelle des produits récupérés. Le procédé Duret effectue cette récupération. L'utilisation des chaleurs perdues des générateurs est suggérée par M. de Grobert (*Journal des Fabricants de sucre*, janvier 1920). Cet auteur fait aussi, à propos des eaux de presse, résidu encombrant qui devrait se transformer en un sous-produit utile, la judicieuse observation suivante : « Si la pratique du séchage des pulpes se généralisait dans notre pays il en résulterait, en raison du pressage des pulpes qui est nécessairement poussé plus loin, des eaux de presse plus riches qui contiendraient plus de matière sèche et par conséquent seraient de récupération plus avantageuse. »

Nous ferons observer pour terminer ce chapitre que le procédé d'extraction des cossettes de sucre desséchées (procédé de Vecchis) permet d'éviter l'obtention d'eaux résiduaires donnant lieu à toutes les difficultés signalées plus haut. Les eaux de diffusion contiennent peu de matières azotées du fait même de l'insolubilisation de ces matières qui sont fixées sur les cossettes.

QUATRIÈME PARTIE

ÉPURATION DU JUS DE LA BETTERAVE

CHAPITRE PREMIER

PRODUCTION DE LA CHAUX ET DE L'ACIDE CARBONIQUE

Généralités.

L'épuration du jus de betteraves obtenu par le procédé ordinaire exige à la fois la chaux et l'acide carbonique, tous deux produits par la décomposition du calcaire ou carbonate de chaux. Chaque usine est donc munie d'un four à chaux qui diffère tout d'abord de ceux employés par les fabricants de chaux puisqu'il doit comporter un dispositif de captation des gaz. Toutefois les fours à chaux usités en sucrerie sont basés sur le même principe ; ce sont des fours coulants dans lesquels la pierre à chaux est introduite par la partie supérieure ; la chaux est recueillie à la partie inférieure. Nous verrons plus loin les conditions diverses réalisant le chauffage. Quoi qu'il en soit la dissociation du carbonate de chaux se produit dans la zone médiane ; les gaz chauds s'élèvent vers la partie supérieure où ils sont captés et réchauffent la pierre à chaux. L'air froid arrive au contraire par la partie inférieure et refroidit la chaux.

La température à atteindre étant élevée, les fours à chaux sont construits en maçonnerie revêtue intérieurement de briques réfractaires de bonne qualité résistant non seulement à la température mais encore à l'action de la chaux incandescente.

On ne saurait apporter trop de soin au choix des matériaux pour la construction du four à chaux ; il ne faut pas se contenter de la désignation de réfractaire, mais exiger du constructeur des garanties quant à la composition de ces matériaux, qui doivent avoir une teneur élevée en alumine.

La production de l'acide carbonique et de la chaux par décomposition du carbonate de chaux est une réaction qui se produit intégralement à 1.040°, suivant les expériences sur la dissociation de H. Sainte-Claire-Deville. A cette température, pour que la réaction soit complète la pression doit être de 520 millimètres. Comme en pratique la pression dans l'intérieur du four est supérieure à celle-ci la température doit être supérieure à cette température théorique et atteindre 1.200 degrés. Mais elle ne doit pas dépasser une température de 150 à 200° supérieure à celle-ci, suivant la composition du calcaire employé, sous peine de former de la chaux qui ne s'éteint pas rapidement. En élevant davantage la température on court même le grave risque de provoquer une fusion partielle d'où le *collage* du four qui peut entraîner son arrêt c'est-à-dire l'arrêt de l'usine pour un temps prolongé puisqu'on peut être dans l'impossibilité de briser la voûte qui se forme dans le four autrement qu'en le laissant refroidir.

La réaction qui se produit dans la décomposition de carbonate de chaux est réversible c'est-à-dire que l'anhydride carbonique tend à se recombinaer à la chaux. La disposition du four doit donc faciliter ce déplacement du gaz carbonique au fur et à mesure de sa production ; c'est dans ce sens qu'on a modifié la forme ancienne du four à chaux qui, primitivement tronconique, avec une grande différence entre le diamètre du bas et le diamètre du haut tend, dans les fours modernes à se rapprocher d'un cylindre. La facilité de construction est d'ailleurs plus grande. La construction rationnelle des fours à chaux et leur conduite régulière, réalisent tout d'abord l'avantage d'économiser le combustible ; mais de plus, comme les produits de la combustion se mêlent, dans les systèmes habituels de fours, au produit de la décomposition du calcaire, plus la quantité de combustible est réduite, plus riche est le mélange gazeux en acide carbonique. Et nous avons montré à propos de la saturation, l'importance de l'emploi d'un gaz riche.

Suivant la pression à laquelle a lieu la dissociation du carbo-

nate de chaux, il faut, pour porter la matière à la température à laquelle a lieu la réaction et pour produire cette réaction, lui céder par kilogramme de 380 à 400 calories ; si nous retenons ce dernier chiffre et si nous prenons, en chiffres ronds 8.000 comme pouvoir calorifique du coke, il faudra pour 1 kilogramme de calcaire brûler

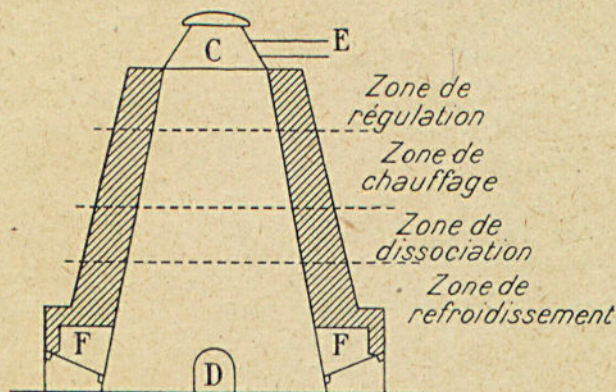


Fig. 40. — Coupe schématique d'un four à chaux, du type classique Cail, montrant les diverses zones.

0 k, 050 de coke, nécessitant 0 k, 133 d'oxygène soit 0 k, 578 d'air, représentant un volume de 447 litres.

En supposant bien entendu le carbonate de chaux chimiquement pur et sec, le kilogramme donnera 0 k, 440 d'acide carbonique qui occupe un volume de 223 litres.

D'autre part les 0 k, 050 de carbone et les 0 k, 133 d'oxygène donneront 0 k, 183 d'acide carbonique formant un volume de 93 litres, soit au total 316 litres d'acide carbonique. L'air nécessaire à la combustion amène avec lui 0 k, 445 d'azote qui occupent 354 litres. Le volume total est donc $316 + 354 = 670$ litres contenant 316 litres d'acide carbonique soit 47 %. Tel est donc le maximum théorique de richesse du gaz carbonique, qui en pratique n'est jamais atteint.

Tout d'abord le réglage du four, quel que soit le système employé ne peut éviter un certain excès d'air pour brûler le combustible ; enfin la pierre à chaux employée n'est jamais complètement sèche. L'expérience montre d'ailleurs, et cela est en conformité avec les théories émises par Sainte-Claire-Deville relativement à

la dissociation du carbonate de chaux, qu'une certaine quantité de vapeur d'eau dans le four à chaux facilite la production de chaux. Quoi qu'il en soit, cette eau nécessite une certaine quantité de combustible pour être vaporisée, d'où augmentation de l'azote correspondant à l'air supplémentaire. En général la quantité d'eau que doit renfermer le calcaire correspond sensiblement à l'eau hygrométrique qu'il retient quand il est conservé à l'abri des intempéries.

Si on considère les différentes zones du four en commençant par le haut on observe les particularités suivantes.

La partie supérieure du four ne contient pas de matières solides ; elle est occupée par du gaz et présente un assez grand volume pour former régulation. Le gaz est à une pression inférieure à la pression atmosphérique.

La couche supérieure de la matière n'est pas en ignition : elle se dessèche et s'échauffe par suite de l'arrivée de gaz chauds dont la marche ascensionnelle est déterminée par une pompe qui aspire le gaz par le haut de l'appareil.

La couche qui vient ensuite est le siège de la combustion du charbon et de la dissociation du calcaire. Cette couche ne doit pas avoir une hauteur exagérée, afin d'éviter la dissociation d'acide carbonique et la production d'oxyde de carbone.

Enfin la couche inférieure est une zone de refroidissement de la chaux produite.

Le courant gazeux doit être assez lent pour que le gaz ne sorte pas trop chaud à la partie supérieure. Notons que plus est grand l'excès de combustible employé, plus est grande la température du gaz sortant (en même temps que plus faible la richesse du gaz).

Les gaz sortants des fours à chaux ont en général de 29 à 33 % de gaz carbonique (en volume) ; l'oxygène y varie de 0,5 à 7 %.

Il peut aussi se produire une certaine quantité d'oxyde de carbone ; ce gaz se forme quand il y a excès de coke par rapport à la quantité d'air introduit. C'est là une condition essentiellement défavorable qui doit être à tout prix évitée.

L'insuffisance d'air provoque aussi la formation d'hydrogène sulfuré car le coke contient toujours une notable proportion de soufre.

Les divers types de four à chaux.

On peut ramener les fours à chaux aux trois types suivants :

1° *Four ordinaire.* — Dans ce four le combustible est mélangé au calcaire. C'est le type le plus ancien, mais des appareils modernes donnant toute satisfaction sont construits suivant ce principe (fig. 40).

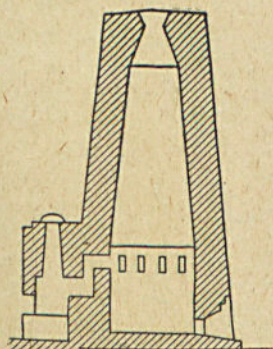


Fig. 41. — Coupe schématique d'un four à chaux à gazogène.

Ils présentent bien entendu l'inconvénient de produire une chaux souillée par les cendres du combustible.

Le chargement s'effectue par la partie supérieure, sous forme de mélange de carbonate de chaux et de coke (l'emploi du coke est indispensable avec ces fours) qui doit être aussi homogène et régulier que possible. Le mélange contient sensiblement 1 de coke pour 10 de pierre à chaux.

La forme primitive du four à chaux employé en sucrerie fut celle d'un tronc de cône dont le diamètre supérieur était trois fois plus petit que le diamètre inférieur (Cail).

Nous citerons aussi la forme ovoïde donnée au laboratoire du four (Vivien.) Les fours qui semblent donner les meilleurs résultats ont un laboratoire qui se rapproche beaucoup du cylindre. La partie inférieure se trouve parfois formée d'un tronc de cône renversé (Khern). Dans ce four pour une hauteur de 12 à 15 mètres donnée au laboratoire, la grande base du cône a un diamètre de 2 mètres.

L'évacuation de la chaux se fait soit par plusieurs portes comme dans les anciens fours, ces portes étant disposées latéralement au niveau du sol, soit par une seule porte inférieure qui sert en même temps au passage de l'air.

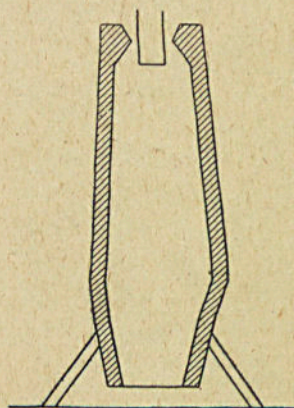


Fig. 42. — Coupe schématique d'un four Khern.

Le four à chaux ordinaire est de conduite délicate ; bien souvent la totalité du combustible n'est pas utilisée. Il s'en échappe dans la chaux sous forme de charbon non brûlé et aussi dans le gaz carbonique, sous forme d'oxyde de carbone.

2^o *Fours à foyers indépendants.* — Ces fours ont évidemment

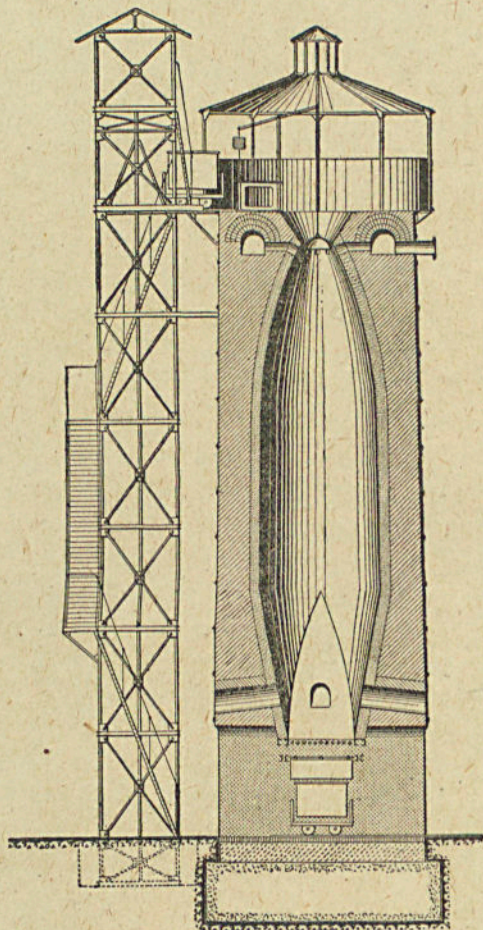


Fig. 43. — Four à Chaux type Khern (Etablissements Maguin. Coupe).

le précieux avantage d'éviter le mélange des cendres du combustible avec la chaux produite. On dispose généralement quatre foyers latéraux, au niveau du sol, sur la périphérie du four. Les gaz provenant de ces foyers pénètrent à travers la masse de calcaire

qu'ils échauffent jusqu'au point de dissociation. Des portes avec grilles sont ménagées pour permettre l'écoulement de la chaux.

Les avantages théoriques de ce système de four sont en pratique atténués par la difficulté de leur fonctionnement. L'obten-

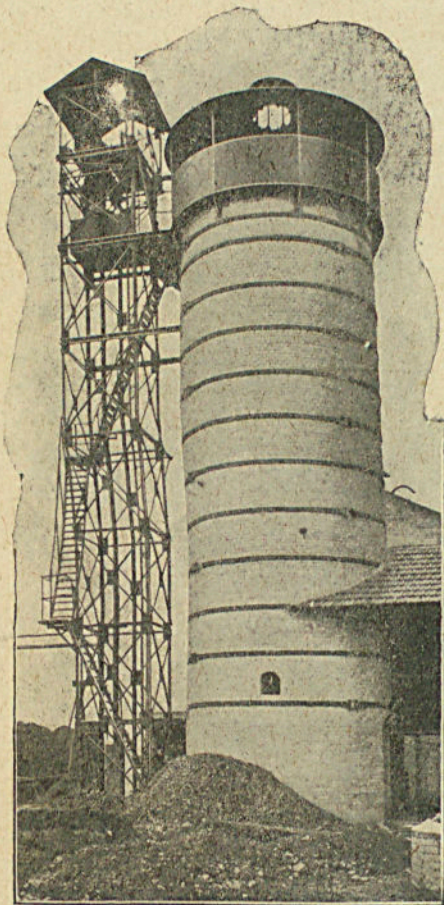


Fig. 44. — Four Khern. Vue extérieure (Cliché des Etablissements Maguin).

tion régulière de la température nécessaire n'est pas toujours réalisée. On a vu de tels fours qui ont été transformés par les industriels qui les utilisaient en fours à chargement ordinaire.

3° *Fours à gazogène.* — C'est évidemment par l'emploi du gazogène que l'on peut résoudre avantageusement le problème de

l'obtention d'une chaux qui ne soit pas souillée par les cendres du combustible (fig. 41).

Nous ne ferons pas ici la théorie du gazogène : rappelons seulement qu'il réalise la transformation du combustible solide en combustible gazeux formé essentiellement d'oxyde de carbone et d'hydrogène, qu'il est aisé de conduire là où on veut précisément provoquer la combustion ; on a d'autre part toute facilité pour amener l'air nécessaire à la combustion après l'avoir réchauffé. Dans le cas du four à chaux cette possibilité est précieuse : on amène les gaz à brûler au point voulu du laboratoire et on est ainsi assuré que c'est bien en ce point là seulement que se fera la transformation de la pierre à chaux en chaux. L'air y arrive échauffé par le passage au travers de la couche de chaux en refroidissement ; enfin la récupération de la chaleur se produit par échauffement du calcaire. Sans doute dans le four à chaux ordinaire ces deux récupérations des calories s'effectuent bien, mais elles sont beaucoup moins faciles à régler puisque l'on ne peut, comme dans le cas du four à gazogène, déterminer une fois pour toutes le point même où se fera la combustion. Enfin le réglage de la combustion présente ici beaucoup plus de facilité puisqu'il suffit d'agir sur la valve de la conduite d'admission des gaz.

Si la combustion d'un four à chaux ordinaire est parfaite, elle a lieu dans des conditions d'économie de combustible supérieures à celles que peut réaliser le meilleur gazogène. Mais en pratique le gazogène permet une utilisation très supérieure, en dehors des autres avantages.

Parmi ceux-ci, à côté de l'avantage essentiel qui consiste à faire de la chaux plus pure, il faut noter une meilleure utilisation du laboratoire ; par conséquent pour une même capacité de four une productivité plus grande et, de plus, la possibilité d'employer toute sorte de combustible, pourvu bien entendu qu'il ne dégage pas de composés sulfureux. Il est bon toutefois d'éviter les combustibles gras qui peuvent donner naissance à des produits goudronneux susceptibles d'encrasser les conduites de gaz.

Il faut encore noter que les fours à gazogène produisent en général des gaz plus froids. Ils ont en effet leur zone de combustion bien réglée et à une distance suffisante de la sortie pour que les gaz se refroidissent au contact du calcaire qu'ils échauffent. C'est

avec des fours à gazogène bien réglés qu'on peut obtenir les plus grandes richesses de gaz en acide carbonique.

Les modèles de gazogènes employés et leur disposition par rapport au laboratoire du four à chaux sont assez variables. Il va sans dire qu'on peut appliquer le gazogène à n'importe quel four à chaux. Il y a lieu de remarquer que la zone de combustion étant

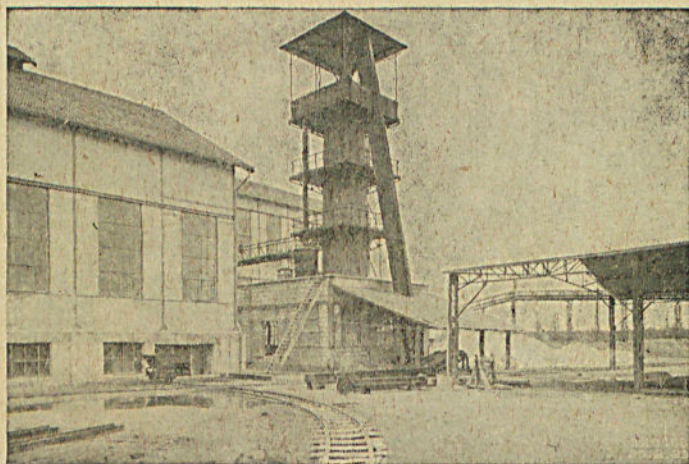


Fig. 45. — Four à chaux avec élévateur à godets (Cliché Fives-Lille).

bien délimitée la maçonnerie du four se trouve ménagée ; il y a là une cause d'économie d'entretien qui compense les frais d'installation du gazogène.

Comme dans les fours à chaux ordinaires le tirage est établi par l'aspiration des gaz à la partie supérieure du four, aussi bien pour l'aspiration de l'air sous la grille du gazogène pour provoquer la formation des gaz combustibles que pour l'aspiration de l'air à travers la masse de charbon en refroidissement. Cependant on peut adapter à un four à chaux un gazogène *soufflé* dans lequel l'air arrive sous pression à travers une couche épaisse de combustible, en même temps que l'eau qui sert à la production d'hydrogène. La marche de ces appareils est fort régulière ; de plus le gaz combustible arrivant sous pression peut être réparti par un grand nombre d'ouvertures dans la masse calcaire et sa combustion a lieu régulièrement dans toutes les parties y compris le centre.

Fermeture du four à chaux.

Alimentation en calcaire et en combustible.

L'évacuation des gaz à la partie supérieure du four à chaux et l'alimentation de celui-ci, soit en calcaire seul soit en mélange de calcaire et de coke, se font à l'aide de divers dispositifs qui doivent réaliser: 1° une fermeture hermétique en dehors de la période de chargement; 2° l'absence de mélange d'air avec le gaz carbonique lors de l'ouverture de la porte de chargement; 3° le non-entraînement de particules de calcaire ou de coke dans la conduite de gaz carbonique, nombre de regards permettant de suivre la marche de la combustion et au besoin de ringarder. A la partie inférieure une grille sert à la fois à l'évacuation de la chaux et à l'arrivée de l'air.

La manœuvre d'ouverture et de fermeture doit pouvoir se faire rapidement et sans trop de peine. Le meilleur dispositif, analogue à celui des haut-fourneaux, est réalisé pour la fermeture par un cône qui se lève à l'aide d'un levier muni d'un contre-poids. Ce cône a l'avantage de permettre une répartition facile de la charge de calcaire ou du mélange sur toute la surface.

On assure la régularité de marche du four en l'alimentant régulièrement, par exemple une fois par heure ou par heure et demie.

Fours rotatifs. — Dans les grandes installations de sucrerie des betteraves des États-Unis on emploie des fours rotatifs analogues à ceux qui sont utilisés pour la fabrication du ciment. A la grande usine d'Oxnard c'est dans de tels fours qu'on régénère 30 % des écumes pour en faire de la chaux pour le traitement des mélasses par le procédé Steffen.

On n'utilise pas le gaz provenant de la décomposition des écumes pour la carbonatation; la production de la chaux nécessaire à la fabrication en partant de calcaire fournit une quantité d'acide carbonique suffisante pour la saturation des jus chaulés.

Capacité des fours à chaux.

La capacité des fours à chaux dépend de l'allure de la cuisson qu'on y fait, c'est-à-dire du temps que la pierre à chaux introduite à la partie supérieure met à couler en bas sous forme de chaux.

On peut dire aussi que la nature du calcaire influe sur ce régime.

On faisait autrefois des fours à chaux dont la capacité correspondait à 400 litres par tonne de betteraves travaillées par 24 heures. La forme de ces fours ne se prêtait qu'à un travail lent. On fait aujourd'hui dans certaines grandes usines des fours dont la capacité correspond à 70 litres par tonne travaillée par jour. Bien entendu la capacité du four ramenée à la tonne de betteraves est d'autant plus petite que le tonnage est plus grand puisque le vide qu'il est nécessaire de maintenir à la partie supérieure n'est pas proportionnel au tonnage.

Il faut dire que fréquemment dans des installations modernes on est allé trop loin dans la réduction de la capacité des fours et qu'on a fréquemment des mécomptes.

La Pierre à chaux.

L'emploi d'une pierre à chaux aussi pure que possible et d'une texture convenable est d'une grande importance.

Les impuretés de la pierre à chaux qui sont surtout à redouter sont la silice et l'alumine : leur présence donne une chaux qui possède l'*hydraulicité* c'est-à-dire qu'elle est longue à s'éteindre et même parfois pratiquement impossible à éteindre, et qui par conséquent ne produit pas dans le jus où on l'introduit les actions chimiques qu'on en attend.

La silice peut former des silicates solubles qui se dissolvent dans les jus ; décomposés par l'acide carbonique, lors de la carbonatation, ils donnent naissance à de la silice soluble qui malgré la faible proportion qu'elle atteint dans le jus, à peine décelable même peut-être, n'en joue pas moins un rôle des plus néfastes en opposant à la filtration une résistance extrêmement grande.

La présence de silice dans les jus à évaporer, que la filtration ne retient qu'imparfaitement, a encore le très grand inconvénient de donner sur les appareils d'évaporation des dépôts qui sont particulièrement nuisibles ainsi que nous le verrons à propos de l'évaporation. Ces faits sont un de ces nombreux exemples qu'on trouve en sucrerie de la répercussion pour ainsi dire à toutes les phases de la fabrication d'un fait anormal qui survient en un point donné.

Le sulfate de chaux et la magnésie produisent, à des degrés

moindres d'ailleurs, les mêmes inconvénients que la silice au point de vue de l'évaporation des jus.

La présence des impuretés que nous avons signalées ci-dessus dans la pierre à chaux présente parfois un inconvénient qui se manifeste dans le traitement même de la pierre à chaux au four ; c'est celui de former des silicates fusibles qui déterminent le collage

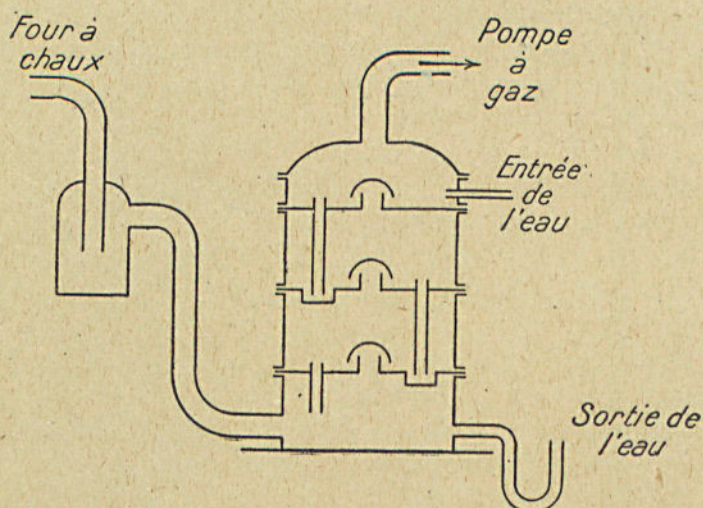


Fig. 46. — Coupe schématique d'un laveur à gaz en cascade.

du four. Particulièrement à redouter avec des fours dont la construction ne permet pas un chauffage régulier et dans lesquels les élévations de température ont tendance à se produire cet inconvénient se manifeste dans les meilleurs fours à un degré plus ou moins grand en retardant l'écoulement de la masse en ignition à la surface de laquelle il vient à se produire un ramollissement.

On peut considérer comme devant être rejetée toute pierre à chaux dont la teneur en silice dépasse 2 %, et la teneur en magnésie ou en plâtre 0,5 %.

Mais l'analyse chimique est insuffisante pour renseigner sur l'aptitude d'un calcaire à se cuire facilement, car sa texture, liée à sa nature minéralogique, joue à ce point de vue un rôle important.

Le carbonate de chaux précipité pur commence à se décomposer vers 550° température à laquelle il a déjà une tension de dissociation notable ; on le décompose complètement à 865°. Le marbre exige

une température de $\bar{1}.000^{\circ}$. Dans les fours à chaux industriels on dépasse sensiblement cette température et on atteint 1.200 et même 1.300°.

Si on chauffait à une température trop élevée du carbonate de chaux pur, du marbre par exemple, on obtiendrait de la chaux qui serait pour ainsi dire impossible à éteindre. La production d'une

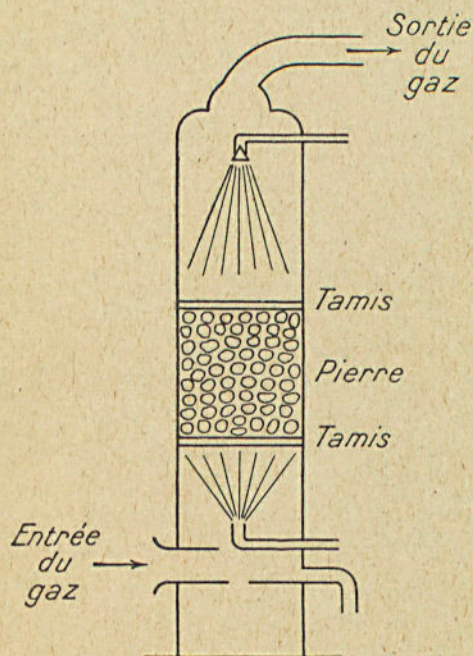


Fig. 47. — Coupe schématique d'un laveur à gaz en pluie.

telle chaux dite « chaux morte » a lieu à des températures inférieures quand on a affaire à de la pierre à chaux contenant de l'alumine, de la silice et surtout du fer.

Le chauffage à température trop élevée de telles pierres à chaux doit donc être évité ; car l'obtention de chaux difficile à éteindre présente un sérieux inconvénient. La chaux d'extinction difficile n'est pas en effet une matière inerte ; elle n'agit pas au moment voulu et n'intervient pas pour fixer le chiffre d'alcalinité qu'on veut obtenir. La « chaux morte » peut en effet continuer à se dissoudre après carbonatation. Le phénomène peut se manifester

aussi à la deuxième carbonatation. Il en résulte alors la production de jus contenant encore de la chaux libre et qui, malgré le bouillissage dont nous parlerons plus loin donnera lieu à incrustations.

M. Décluy a fait une communication au Congrès de l'Association des Chimistes de 1922 pour montrer les avantages de l'emploi du coke des usines à gaz sur l'emploi du coke métallurgique.

Il n'y a aucun inconvénient à l'emploi du coke de gaz. C'est une question de prix. Pour l'établissement du prix des calories il est nécessaire de tenir compte de la teneur en eau de l'un et l'autre produit. L'auteur donne les chiffres suivants :

	Coke métallurgique	Coke de gaz
Eau.....	5	12
Cendres.....	8	13
Combustible pur....	87	75
	100	100

Nous reproduisons ci-contre le tableau relatif aux richesses du gaz des fours à chaux publié par cet auteur.

Lavage du gaz carbonique. — Le gaz à sa sortie du four à chaux doit être débarrassé par lavage des poussières qu'il contient et qui seraient fort nuisibles aux organes des pompes, et privé de l'hydrogène sulfuré et d'acide sulfurique dont la présence peut provoquer au cours du travail du sulfure de fer noir qui communique finalement au sucre produit une teinte grise.

Les laveurs doivent présenter des dispositifs permettant d'éviter l'entraînement des gouttelettes d'eau. Les systèmes de laveurs sont multiples : laveur à cascades (fig. 46), laveur à injecteurs envoyant l'eau en pluie (fig. 47), etc.

Pompes à gaz carbonique.

Le gaz carbonique qui se dégage à la partie supérieure du four à chaux est extrait par une pompe, dite pompe à gaz, qui le refoule aux chaudières à carbonater. Nous avons vu que c'est par leur fonctionnement que se trouve assuré le tirage du four à chaux ; leur régularité de marche est donc indispensable surtout quand le four à chaux a un gazogène. Les pompes à gaz ne doivent être arrêtées que pendant le temps très court indispensable pour le graissage.

Ce sont habituellement des pompes à tiroir (fig. 48 et 49). Elles sont parfois actionnées par courroies, mais il est plus recom-

Table de Décluy donnant la richesse en volume de l'acide carbonique des gaz de four à chaux

CARBONATE DE CHAUX PUR DANS 100 KILOS DE CALCAIRE	COMBUSTIBLE PUR EMPLOYÉ POUR 100 KILOS DE CALCAIRE BRUT														
	6°/o	7°/o	8°/o	9°/o	10°/o	11°/o	12°/o	13°/o	14°/o	15°/o	16°/o	17°/o	18°/o	19°/o	20°/o
100 k	40,9	38,1	36,3	34,8	33,6	32,5	31,6	30,8	30,0	29,4	28,8	28,3	27,9	27,5	27,1
95	39,6	37,4	35,7	34,2	33,0	31,9	31,1	30,3	29,6	29,0	28,4	27,9	27,5	27,1	26,7
90	38,8	36,6	35,0	33,6	32,4	31,4	30,5	29,8	29,1	28,5	28,0	27,5	27,1	26,7	26,4
85	38,0	35,9	34,3	32,9	31,8	30,8	30,0	29,3	28,6	28,1	27,5	27,1	26,7	26,3	26,0

mandable d'employer des pompes à moteur. On y substitue de plus en plus des pompes rotatives.

Ces pompes doivent pouvoir aspirer et refouler un volume de gaz considérable, qui va de 80 à 100 m³ par tonne de betteraves travaillées.

La pression totale à fournir se compose de la dépression d'aspiration représentant la résistance du four à chaux du laveur et

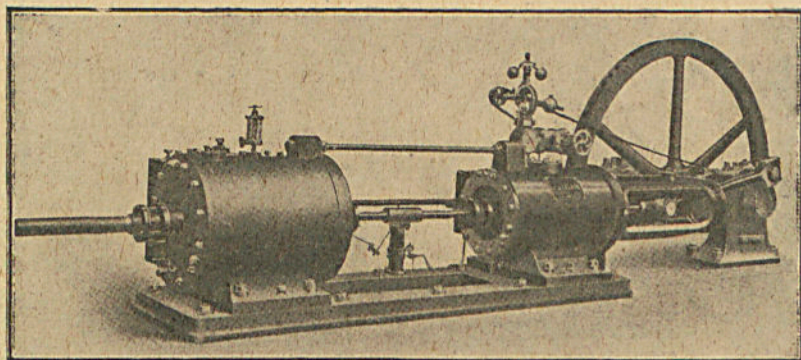


Fig. 48. — Pompe à gaz acide carbonique (Cliché Gillain).

des tuyauteries et de la résistance au refoulement due à la hauteur de jus dans le bac de carbonatation.

La dépression, suivant les installations, varie entre 0 m, 5 et 1 m. La résistance au refoulement est de l'ordre de 3 à 4 m. soit au total une pression de 4 à 5 m. d'eau.

Calcul de la pompe à gaz.

Supposons une usine de puissance moyenne de 500 tonnes de betteraves par 24 heures et travaillant dans des conditions telles qu'elle consomme 32 kilos de chaux par tonne de betteraves. Si elle emploie un calcaire contenant 90 % de carbonate de chaux, on obtiendra par 100 kilos de calcaire au lieu de 56 de chaux et 44 d'acide carbonique les quantités respectives suivantes : chaux $56 \times 0,90 = 50$ k, 4 et acide carbonique $44 \times 0,90 = 39$ k, 6.

Pour obtenir la chaux nécessaire il lui faudra donc traiter la quantité de calcaire suivante

$$\frac{100 \times 32}{50,4} \text{ par tonne, soit } \frac{100 \times 32 \times 500}{50,4} = 38.095 \text{ kgs.}$$

soit en tenant compte des incuits et de divers déchets 40.000 kilogs.

Nous avons vu que 100 kilogs de calcaire donnent 39k,6 d'acide carbonique.

Nous avons indiqué précédemment que la tension des gaz dans le four à chaud était d'environ 720 m/m. Sa température à la sortie est de 60°. La den-

sité du gaz carbonique est 1,529. Le poids du litre d'air étant de 1,293 à 0° à 760 le poids à 60° à 720 m/m d'un litre de gaz carbonique sera :

$$\frac{1,293 \times 1,529 \times 720}{(1 + 60 \times 0,00367) 760} = 1 \text{ gr } 533$$

Les 39 k, 6 de gaz occuperont donc un volume de

$$\frac{39,6 \times 1000}{1,533} = 25.831 \text{ litres.}$$

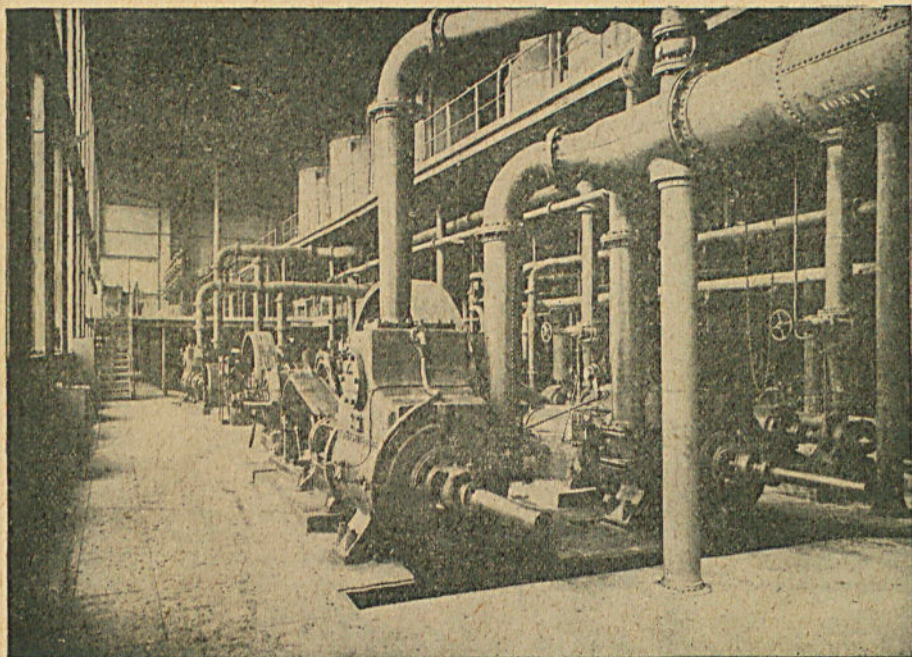


Fig. 49. — Pompe à gaz (Cliché Fives-Lille).

Les 40.000 kilos de calcaire donneront donc un volume de

$$\frac{25,831 \times 40,000}{100} = 10.332 \text{ mètres cubes de gaz carbonique.}$$

D'autre part nous avons vu plus haut que nous devons employer pour décomposer le calcaire environ 10 % de son poids en coke soit pour 40.000 kilos de calcaire 4.000 kilos de coke.

Si nous comptons que ce coke renferme 85 % de carbone il exigera pour sa combustion un poids d'oxygène qui sera par kilo

$$\frac{0 \text{ k, } 850 \times 32}{12} = 2 \text{ k, } 265.$$

Nous aurons donc par kilo de coke brûlé un poids d'acide carbonique égal à 0, 850 + 2 k, 265 = 3 k, 115.

D'après ce que nous avons indiqué, le litre de gaz carbonique dans les conditions où il sort du four, pèse 1 gr,533 le litre. Les 3,115 gr. occuperont donc un volume de 2.031 litres; le volume occupé par le gaz produit par la combustion des 4.000 kilos de coke sera $2.031 \times 4.000 = 8.124 \text{ M}^3$.

Nous devons enfin tenir compte de l'azote accompagnant l'oxygène. Par kilo de coke brûlé le poids d'azote représente $\frac{77}{23}$ du poids d'oxygène

$$2,265 \times \frac{77}{23} = 7 \text{ k}, 583.$$

L'azote sort dans les mêmes conditions de température et de pression que l'acide carbonique. Sa densité étant 0,972 un litre d'azote sortant du

$$\text{four pèsera : } \frac{1.293 \times 0.972 \times 760}{1 + (60 \times 0.0036) 760} = 0 \text{ gr } 975$$

Le volume occupé par 7.583 gr. d'azote sera $7.583 = 7.777$ litres. Pour les 4.000 kilos de coke on aura $7.777 \times 4.000 = 31.108 \text{ m}^3$.

Le volume gazeux total sera de :

Acide carbonique :

provenant de la décomposition du calcaire	10.372 M ³
provenant de la combustion du coke	8.127
Azote de l'air nécessaire à la combustion	31.108

La pompe aura à effectuer l'aspiration et le refoulement de ce volume de gaz par 24 heures. Mais en réalité nous avons vu que l'on n'obtenait généralement pas cette combustion presque théorique; il faut donc prévoir que le gaz ayant une richesse ne dépassant pas 30 % il contient un excès d'air et au lieu des 49.476 m^3 il faut compter $49.567 \times 37,5 = 61.958 \text{ m}^3$, soit par heure 2.581 m^3 et par minute 43 mètres cubes.

M. Paul Bussy, dans une intéressante étude sur la richesse du gaz du four à chaux en sucrerie (Journal des Fabricants de sucre, 1921), donne le chiffre de 32 % comme teneur moyenne en acide carbonique du four Khern en marche normale.

Nous avons indiqué que la pompe devait marcher avec grande régularité. On lui donne généralement une faible vitesse, par exemple 35 tours à la minute. On est donc amené à donner au cylindre un très grand volume. D'ailleurs la faible vitesse qu'on leur donne habituellement en marche normale laisse une grande marge pour l'accélérer à l'occasion lorsqu'une augmentation de débit devient nécessaire.

Pour la production moyenne envisagée les dimensions de la pompe à gaz seront les suivantes :

Le cylindre à gaz a un diamètre de 1.050 et la course du piston est de 800 m/m; le cylindre à vapeur a un diamètre de 400 m/m.

Le cylindre doit fournir un travail d'environ 30 chevaux.

Le fonctionnement des tiroirs des pompes à gaz présente certains inconvénients qui diminuent son rendement volumétrique. On y remédie par l'adoption du système de compensation dans le détail duquel nous ne pouvons entrer; le plus répandu est le système Burckhardt et Weiss; disons seulement qu'il consiste à faire communiquer à la fin de la course du piston les deux extrémités du cylindre à l'aide d'un conduit ménagé dans la coquille du tiroir; ainsi les gaz comprimés dans les espaces nuisibles se détendent dans la capacité où se fait l'aspiration. L'application de la compensation augmente le rendement volumétrique de la pompe d'une quantité qui n'est pas négligeable. Toutefois cette disposition ne s'impose pas.

L'emploi de la pompe à gaz présente l'inconvénient inhérent aux points morts, c'est-à-dire de ne pas réaliser une aspiration continue au four à chaux et d'envoyer le gaz aux chaudières à carbonater avec le même rythme discontinu. On évite cet inconvénient par l'emploi des appareils centrifuges (turbo extra-

teur-compresseur). Ces appareils ont des vitesses allant jusqu'à 3.000 tours par minute. Pour les grandes sucreries leur prix d'installation est moins élevé que celui des pompes ordinaires et leur rendement est meilleur. Leur emploi se généralise de plus en plus.

Les machines soufflantes, employées en sucrerie pour le gaz carbonique sont du type classique des soufflantes multicellulaires ; elles présentent certaines particularités de construction en raison des fines poussières qui se trouvent dans le gaz à comprimer ; on pratique une légère injection d'eau à l'aspiration de chaque roue pour éviter l'adhérence des poussières.

Les dépenses du graissage sont moindres avec la centrifuge qu'avec la pompe à piston ; le rendement est le même quand les garnitures de la pompe à piston sont parfaites, mais en pratique, en tenant compte de l'usure, le rendement des centrifuges est meilleur.

Enfin il y a lieu de considérer que le flux continu de gaz carbonique produit par la machine centrifuge constitue une condition favorable à la carbonatation, entraînant une économie de gaz.

M. de Raedt (*Sucrerie belge*, 15 juin 1924) indique que la consommation de calories d'une soufflante est 11, 5 pour une élévation de pression de 4 m, 50. Dans une installation dont la machine motrice est une turbine alimentée par de la vapeur saturée à 14 k. avec contre-pression de 7 kilos la consommation de vapeur par mètre-cube de gaz aspiré est de l'ordre de 250 grammes.

Quel que soit le système de pompe auquel on a recours il est indispensable à la bonne marche d'une usine qu'elle soit très largement calculée.

Pour terminer ce chapitre nous insisterons sur l'importance économique que pourra présenter la suppression du four à chaux et de la pompe à acide carbonique dans la sucrerie travaillant les cossettes desséchées, aussi bien au point de vue de la dépense de matériel que de la simplification de la fabrication.

CHAPITRE II

ÉPURATION DES JUS SUCRÉS. CARBONATATION. FILTRATION

Généralités.

Si on évaporait purement et simplement les jus de betteraves jusqu'à ce que le sucre qu'ils contiennent puisse cristalliser, en raison des matières qui accompagnent ce produit dans la betterave et qu'on a extrait avec lui, on obtiendrait une masse impure bien différente du produit qu'on est habitué à consommer.

L'épuration des jus sucrés est l'opération capitale de l'industrie qui nous occupe.

Nous verrons que des fabrications assez développées, en Allemagne et en Belgique, ont simplifié singulièrement ces opérations en produisant des sirops ou solutions assez concentrées de sucre accompagné des impuretés.

Des tentatives intéressantes à plus d'un titre ont été faites en France par Kestner pour créer des fabrications de *sucre complet* c'est-à-dire contenant les substances qui accompagnent ce produit dans le jus; le produit pouvait, selon les désirs de l'inventeur jouer un certain rôle dans l'alimentation, non en consommation directe, mais par l'emploi dans divers mélanges alimentaires. L'exonération d'une partie des droits n'ayant pu être obtenue en faveur du produit ainsi obtenu, il n'a pas été possible à l'industrie nouvelle de tenter de faire ses preuves.

Aujourd'hui avec notre production considérable de sucre — qui n'a l'allure d'une surproduction que parce qu'on n'a pas su

donner à la consommation l'importance qu'elle devrait avoir dans une société rationnellement nourrie — il n'y a pas lieu d'envisager la fabrication d'un tel produit.

Quoi qu'il en soit, pour la fabrication courante du sucre, il est nécessaire de procéder, par des moyens économiques à l'élimination de la majeure partie des impuretés pour que la cristallisation se produise et que le sucre puisse s'extraire à l'état solide.

La fabrication du sucre extrait de la canne, a comme nous l'avons indiqué au début, précédé de longtemps la fabrication du sucre de betteraves. C'est donc par analogie avec ce qui se faisait pour la canne qu'on procéda d'abord pour épurer le jus extrait de la betterave ; on ajouta donc d'abord des cendres, au liquide qu'on portait à l'ébullition.

Les cendres, qui sont alcalines, étaient efficaces contre l'action des acides qui se trouvent dans les jus.

Mais la chaux se révéla bientôt comme un agent d'épuration d'une supériorité incontestable, car en même temps qu'il se forme des sels insolubles, par son action sur certains sels solubles de la betterave, la coagulation de l'albumine se produit.

La *défécation* (du mot latin *defæcation* qui signifie l'opération par laquelle on débarrasse un liquide des parties qui le troublent, *fæx* ou *fæcis* lie.) se pratique donc couramment en ajoutant de la chaux au jus sucré depuis les débuts de la fabrication du sucre de betteraves.

Deyeux avait recours dès l'année 1799 à l'emploi de la chaux.

Derosne employa la chaux en quantité plus importante que celle usitée par ses prédécesseurs et en même temps utilisait le sang de bœuf, après avoir d'ailleurs neutralisé l'excès de chaux par l'alun.

L'acide sulfurique fut substitué à l'alun par Barruel, puis l'acide carbonique.

L'action décolorante du noir animal (provenant de la calcination des os en vase clos) avait été mise en évidence dès 1811 par Figuier ; elle fut appliquée de suite par Derosne. Le noir était employé en poudre, en même temps que du sang, qui, par l'ébullition, formait un magma permettant aisément de filtrer, le noir fin, englobé dans l'albumine coagulée, restait sur les toiles employées à la filtration. On simplifia l'emploi du noir quand Payen eût montré qu'on peut décolorer une solution en la faisant passer sur du noir en grains.

L'emploi du noir depuis longtemps abandonné dans la plupart des usines semble avoir persisté dans quelques sucreries jusqu'à une époque très récente.

Il joue encore un rôle important en raffinerie ; des procédés récents de préparation de noirs décolorants donnent même un renouveau d'actualité à l'emploi du noir. Nous devons y revenir.

Mais le grand progrès dans l'épuration des jus sucrés après l'emploi de la chaux est celui réalisé par la saturation à l'aide de l'acide carbonique.

Kuhlmann proposa l'emploi de l'acide carbonique pour la saturation de l'excès de chaux en 1833. La mise en pratique n'en fut pas exempte de difficultés ; aussi bien en Allemagne qu'en France son emploi donna lieu à des essais sans succès. Il fallut arriver vers 1848 pour que, grâce au procédé de Rousseau, l'emploi de l'acide carbonique pût devenir courant. Rousseau chauffait les jus vers 50° y ajoutait du lait de chaux (à raison de 5 % du volume du jus traité, le lait de chaux marquant 22 Baumé). Le jus chaulé était chauffé jusqu'à une température voisine de l'ébullition sans toutefois produire celle-ci. Le jus était soumis à la décantation — qui ne s'effectuait pas facilement — puis la partie claire était traitée par l'acide carbonique. Les écumes ou boues recueillies étaient filtrées et le jus recueilli était joint au jus clair obtenu par décantation. L'acide carbonique en excès était chassé par un léger bouillon. Le gaz carbonique était produit par la combustion du coke ; une pompe le refoulait dans le jus.

Le jus traité par l'acide carbonique était ensuite passé sur le filtre à noir en grain.

Des perfectionnements importants furent introduits par Périer et Possoz en France, puis par Frey et Jellinek en Autriche. En 1859 Possoz avait proposé d'ajouter un excès de chaux, de faire passer l'acide carbonique de suite et de séparer le dépôt avant d'achever la séparation, puis de faire agir ensuite sur le jus clair, en une seconde fois, l'acide carbonique. Possoz avait fait cette observation capitale que le précipité de carbonate de chaux formé entraînait avec lui une certaine quantité des impuretés dissoutes dans le jus. Possoz avait de faire la deuxième carbonatation ajoutait une nouvelle quantité de chaux.

Ces diverses observations ne pouvaient d'ailleurs donner lieu à un procédé vraiment pratique tant que, par des filtre-presses bien construits, on n'avait pas la possibilité d'effectuer aisément la séparation des précipités et leur lavage. Cependant elles établissaient définitivement le principe de la double carbonatation actuellement suivi.

En 1864 Jellinek ajoutait une forte proportion de chaux au jus et faisait passer l'acide carbonique sans séparer les écumes ; il produisait un dépôt grenu, de séparation assez facile et son procédé se répandit rapidement en Allemagne et en Autriche. C'est l'emploi de ce procédé déjà très perfectionné pour l'épuration des jus, qui contribua pour une part notable au succès de la diffusion que Robert mettait alors sur pied. En somme les progrès dans la construction du filtre-pressé, les progrès dans l'épuration, les progrès dans l'épuisement des betteraves allaient de pair.

Le travail courant actuel peut être ainsi résumé, abstraction faite de diverses variantes.

Le jus à sa sortie de la diffusion réchauffé ou non suivant les conditions mêmes de la diffusion reçoit de la chaux, habituellement sous forme de lait de chaux à 22 Baumé, dont on verse 10 à 15 litres par hectolitre. On chauffe. On fait passer l'acide carbonique (1^{re} carbonatation) jusqu'à ce qu'il reste seulement 0 g, 10 d'alcalinité exprimée en chaux par 100 cm³ de jus. On filtre. On ajoute au jus sortant du filtre-pressé 2 à 3 litres de lait de chaux par hectolitre, on carbonate (2^e carbonatation), on porte à l'ébullition pendant

quelques minutes ; on filtre. Les épurations complémentaires sur les jus ou sur les sirops sont pratiquées de façon variable, mais toujours la méthode générale appliquée est celle que nous venons d'exposer succinctement.

Ajoutons que la chaux et l'acide carbonique nécessaires au travail courant dont nous venons de parler sont toujours produits à l'usine même à l'aide de fours à chaux.

Épulpage des jus.

Quel que soit le mode de chaulage auquel on a recours il importe de ne pas faire agir la chaux sur les débris de pulpes en

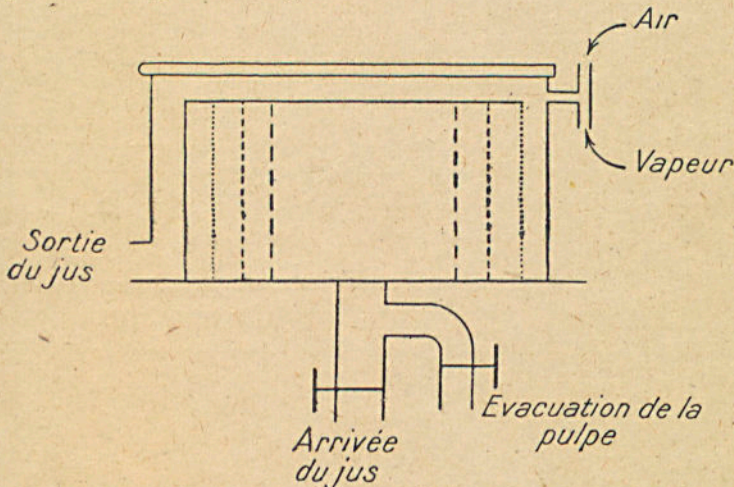


Fig. 50. — Épulpateur Wagner.

suspension dans les jus à leur sortie de la diffusion. Aussi doit-on faire passer le jus sur des *dépulpeurs* ou *épulpeurs*.

Ces appareils sont le plus souvent formés simplement par une sorte de seau à fond perforé.

Dans l'épulpateur Wagner (fig. 50) le seau simplement formé de tôle perforée est remplacé par un dispositif comprenant quatre tamis allant en diminuant de dimensions des mailles depuis celui qui se trouve en haut et dans lequel tombe d'abord le jus qu'amène un tuyau central. Ce tuyau porte une série de renflements supportant

les tamis. Le jus s'écoule par la partie inférieure. Les dimensions des mailles de tamis sont 5 mm, 4 mm, 3 mm, et 1 mm. La vidange et le nettoyage sont faciles. Il suffit de soulever le couvercle et retirer successivement les tamis qui sont après vidange et nettoyage très aisément remis en place.

Les systèmes plus perfectionnés d'épulpeurs sont d'un emploi

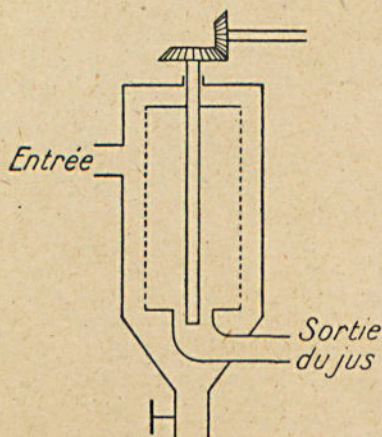


Fig. 51. — Épulpeur Pilhardt.

avantageux, car l'action de la chaux sur les pulpes est si manifestement mauvaise qu'on ne saurait apporter trop de soins à leur élimination.

Il est donc bon de recourir à des appareils qui éliminent plus complètement la pulpe folle par des dispositifs en mouvement.

Parmi les systèmes de ce genre on peut citer l'épulpeur Pilhardt (fig. 51). Cet appareil est caractérisé par un tamis cylindrique tournant autour de son axe vertical auquel le mouvement est

communiqué par un système d'engrenage. Ce tamis est enfermé dans un vase cylindrique terminé par un cône. Le jus arrive dans ce cylindre à moitié de la hauteur, il pénètre à travers le tamis de l'extérieur vers l'intérieur et s'écoule par une tubulure qui débouche au fond du tamis rotatif. Les pulpes folles qui sont arrêtées par le tamis tombent dans la partie conique d'où on les évacue à l'aide d'une soupape.

On peut remplacer ce dispositif par un autre dans lequel le tamis est fixe mais comporte à l'intérieur une hélice en mouvement qui nettoie le tamis en le râclant du côté de l'arrivée du jus ; la pulpe tombe vers le fond conique qui se trouve au dessous du cylindre contenant le tamis (Épulpeur Muller) (fig. 52).

Toutefois l'épulpeur simple d'un fonctionnement très sûr peut suffire à éliminer les pulpes de façon satisfaisante à condition qu'on apporte le plus grand soin à son entretien en bon état de fonctionnement.

Chaulage des jus.

On chauffe généralement le jus avant l'addition de chaux. Avec certains procédés de diffusion qui donnent du jus à température relativement élevée le chauffage avant chaulage se trouve nécessairement réalisé.

Le chauffage du jus après chaulage a aussi ses partisans ; en réalité l'une et l'autre méthode ont une supériorité suivant la composition des betteraves et la disposition générale du travail. Le chauffage du jus non chaulé a une tendance à encrasser les appareils ; de plus certaines betteraves donnent un jus qui chauffé sans chaux, forme du sucre inverti.

Ce qui importe c'est de maintenir le moins longtemps possible le jus à haute température en présence d'une dose massive de chaux ; parmi les inconvénients que présente un contact prolongé il faut citer la formation de sucres insolubles qui constituent une perte de sucre. Celle-ci se produit d'ailleurs quand la chaux est mal mélangée au jus, et on l'observe surtout avec la défécation sèche quand les précautions nécessaires ne sont pas prises.

Le contact doit être maintenu dans des limites n'excédant pas 10 minutes et réduites à 5 si on opère très chaud. On réduit naturellement le temps de chauffe par l'emploi de réchauffeurs largement calculés.

Phénomènes qui se produisent sous l'action de la chaux.

Nous examinerons ici les phénomènes qui caractérisent l'action de la chaux. Ils sont assez complexes, et d'ailleurs inséparables de ceux qui sont produits par l'action de la chaleur. La

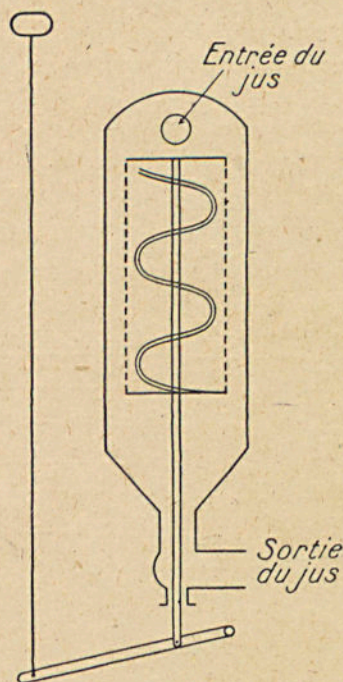


Fig. 52. — Epulpeur Muller

chaux agit en effet dans le même sens que cet agent physique pour provoquer la coagulation des matières albuminoïdes c'est-à-dire leur insolubilisation et par conséquent leur élimination des jus. Mais cette élimination est loin d'être complète et porte tout au plus sur le quart de la quantité primitivement contenue. C'est qu'en effet il y a, par l'action de la chaux, mise en liberté de potasse et de soude, et ces bases ont pour effet de maintenir de l'albumine en solution à l'état d'alcali-albumine. Et il est indispensable pour la suite du travail de maintenir le jus alcalin.

L'action de la chaux sur le jus de diffusion est à la fois mécanique, par l'entraînement des matières en suspension au sein du précipité, et de nature chimique par suite de la formation de substances insolubles entraînées elles aussi dans le précipité essentiellement formé de carbonate de chaux. On dit aujourd'hui que le précipité de carbonate de chaux entraîne par absorption des matières colloïdes. Parmi les phénomènes d'ordre mécanique qui se produisent il faut citer la précipitation des microorganismes qui se trouvent en abondance dans le jus brut et détermineraient promptement son altération sans cette précipitation.

Les phénomènes chimiques qui se produisent sont tout d'abord la neutralisation des acides libres avec formation d'un certain nombre de produits insolubles, notamment avec l'acide phosphorique et l'acide oxalique. Il y a mise en liberté correspondante de bases, potasse et soude, puis d'ammoniaque et de bases organiques. Les acides non précipitables par la chaux donnent des sels de potasse et de soude et les bases organiques restent à l'état libre.

Suivant la proportion des acides non précipitables par la chaux on a au total une alcalinité due à un mélange d'alcalis fixes et de bases organiques ou de ces dernières seulement. Dans ce dernier cas l'alcalinité du jus n'est pas permanente car ces bases organiques disparaissent par les chauffages auxquels les produits sont soumis.

Pour la neutralisation des acides libres du jus brut et la formation des sels de chaux insolubles avec les acides précipitables par cette base, il est nécessaire d'employer seulement 0,15 à 0,20 % de jus en chaux. Pour obtenir une clarification du jus il faudrait employer 0,50 à 0,75 %; mais il est nécessaire d'arriver à une dose d'au moins 1,5 % pour obtenir pratiquement une séparation bien

nette c'est-à-dire une filtration rapide après saturation. Un excès de précipité de carbonate de chaux est donc tout à fait nécessaire. On ajouterait même sensiblement plus avec avantage, si l'exagération du volume des écumes n'avait pour conséquence une complication du travail de filtration et, sans parler de la dépense de chaux, surtout une perte notable de sucre dans les écumes. Pour des betteraves moyennes la limite supérieure est 2,5 %.

L'exagération de la quantité de chaux employée s'impose toutefois quand on travaille de mauvaises betteraves, car celles-ci

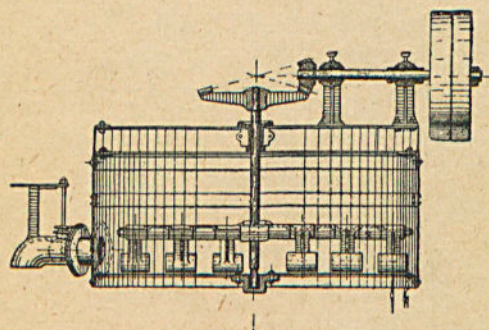


Fig. 53. — Malaxeur pour la préparation du lait de chaux.

amènent habituellement des difficultés de filtration auxquelles il faut surtout parer.

Il en est du moins ainsi en l'état actuel des moyens mécaniques dont on dispose couramment.

Il va sans dire qu'il ne faut pas adopter un chiffre invariable basé sur telle ou telle théorie ou conforme à une opinion qu'on juge autorisée, mais déterminer, par un contrôle appliqué sans relâche, la quantité convenable dans les limites ci-dessus fixées.

Lorsqu'on a recours à l'emploi du lait de chaux les limites entre lesquelles il faut se tenir sont de 10 à 15 % de lait de chaux marquant 20 à 22° Baumé.

Selon la richesse de la betterave, selon les conditions climatiques, le jus de diffusion contient une quantité de matières solubles autres que le sucre qui varie entre 10 et 15 % de ce produit. Par les

traitements successifs par la chaux et l'acide carbonique on élimine une proportion de ces matières qui varie entre 25 et 40 %. La quantité est assez difficile à déterminer très exactement. En effet, le non sucre se détermine par différence entre la teneur totale des matières sèches et le sucre. Celui-ci se dose par polarisation. Or l'action de la chaux sur les jus de diffusion a pour effet d'en modifier la polarisation. On pourrait être tenté de prendre des pertes de polarisation pour des pertes de sucre. L'emploi de méthodes d'analyse appropriées, établis par les travaux de Andriik, Pellet, E. Saillard, permettent de déterminer exactement les purétés avant et après. Mais la pratique de ces analyses est délicate.

La teneur des jus en matières azotées dont le pouvoir rotatoire se modifie suivant la réaction du milieu est variable. D'autre part la durée des chauffages, les températures atteintes font subir des variations aux pertes de polarisation.

Réchauffage du jus.

La température des jus de diffusion à leur sortie du bac mesureur est de 35° environ ; il faut, dans le travail courant de carbonatation les porter à la température de 80-85. Nous voulons parler du cas ordinaire en dehors de celui où on a recours à un système particulier de diffusion.

On peut effectuer ce chauffage dans les chaudières à carbonater qui sont alors munies de serpentins de cuivre. Ce dispositif est généralement abandonné aujourd'hui. Le chauffage du jus par un réchauffeur tubulaire, analogue à un calorisateur, présente l'avantage d'immobiliser moins longtemps la chaudière à carbonater ; de plus le chauffage peut s'effectuer avec de la vapeur de jus prélevée dans une caisse d'évaporation. On peut d'ailleurs en cas de nécessité, par exemple lorsque l'appareil d'évaporation n'est pas encore en pleine marche, alimenter les réchauffeurs avec de la vapeur directe.

On emploie aujourd'hui de préférence les réchauffeurs fermés.

Ils sont formés par un corps tubulaire cylindrique constituant le réchauffeur proprement dit ; le jus circule dans l'intérieur des

tubes qui sont en fer ou en laiton. Ce corps tubulaire est fermé en haut et en bas par des doubles fonds dans lesquels sont disposées des cloisons verticales formant des compartiments dans lesquels débouchent les tubes, ces tubes constituent autant de groupes qu'il y a de compartiments.

Ces compartiments sont destinés à établir une circulation

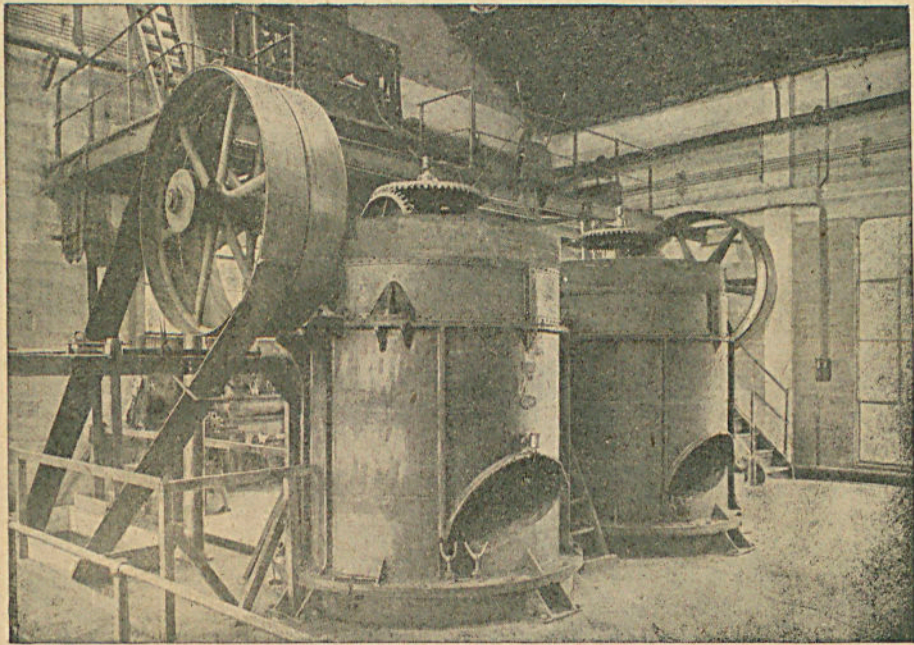


Fig. 54. — Malaxeur à chaux (Cliché Fives-Lille).

des jus et un échange rapide du calorique.

Ils sont habituellement au nombre de trois ou de six et on en fait aussi qui comportent 16 compartiments. Ces réchauffeurs sont appelés réchauffeurs cellulaires.

Nous verrons plus loin l'importance du réchauffage des jus et nous étudierons avec quelque détail l'ensemble des réchauffages

dans l'usine et comment on effectue les prélèvements de vapeur pour les effectuer économiquement.

Le mauvais épulpage des jus présente l'inconvénient de réduire considérablement le rendement des réchauffeurs de jus ce qui occasionne parfois un retard dans le travail.

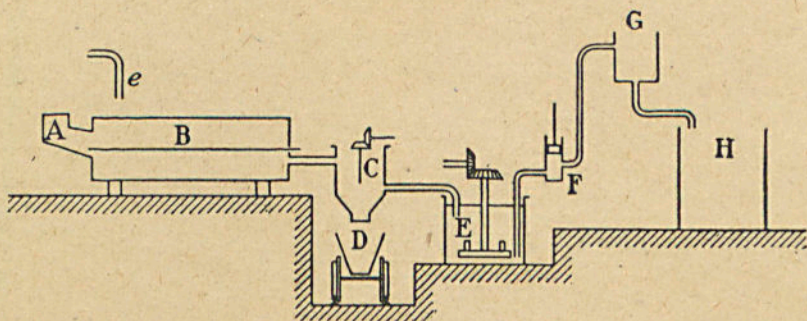


Fig. 55. — Schéma du travail de la Chaux.

A, Trémie d'arrivée de la chaux ; e, arrivée de l'eau ; B, Tambour Milk ; C, Tamiseur à lait de chaux ; D, vagonnet pour l'évacuation des incuits ; E, Malaxeur ; F, Pompe à lait de chaux ; G, Bac mesureur ; H, Bac chaaleur.

Les divers modes de chaulage.

L'introduction de la chaux dans les jus se fait soit par du lait de chaux soit par de la chaux en poudre.

Chaulage par lait de chaux. — Le lait employé contient 22 à 25 kilos de chaux par hectolitre. On le prépare généralement à l'aide d'un malaxeur formé d'une cuve cylindrique en fonte avec double fond de tôle perforée. Un arbre vertical est fixé à son centre et porte des traverses auxquelles sont fixées des palettes verticales qui agitent sans cesse la chaux au fur et à mesure qu'elle se délaye et la forcent à passer à travers la toile métallique ; une vidange latérale permet de temps en temps d'enlever les pierres (fig. 53 et 54) (1). Le lait de chaux qui a passé à travers la grille est sans cesse

(1) Celles-ci comprennent aussi bien des fragments de silex se trouvant dans certaines couches de calcaire que des *incuits* c'est-à-dire de la craie non transformée en chaux dans le four.

agité par un bras calé sur l'arbre et qui se meut entre les deux fonds.

On a apporté divers perfectionnements à ce dispositif, notamment dans l'appareil Lacouture qui permet l'évacuation continue des pierres. On peut aussi citer comme un appareil fort répandu le tambour de Mick, formé d'un cylindre creux horizontal tournant lentement sur un jeu de galets à l'aide d'un engrenage formé d'une

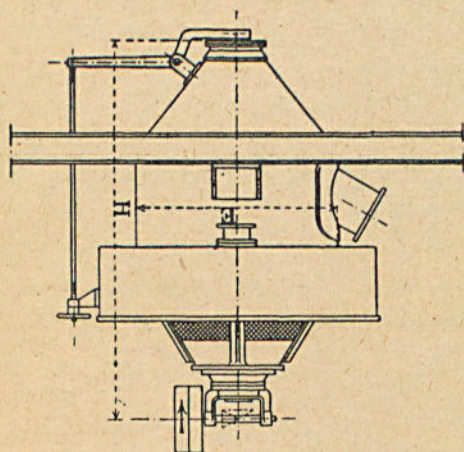


Fig. 56. — Filtre à lait de chaux Koran.

roue dentée fixée sur sa circonférence et d'un pignon. A une extrémité du tambour on fait arriver, dans une ouverture pratiquée au centre, l'eau et la chaux. A l'autre extrémité, à condition qu'on règle convenablement l'arrivée de l'eau, sort le lait de chaux prêt à l'emploi ; on le reçoit dans un tamiseur rotatif qui en sépare les pierres. Cet appareil a le grand avantage d'être continu.

Bien entendu on n'effectue pas la préparation du lait de chaux avec de l'eau froide ; on emploie les dernières eaux de lavage des filtre-presses ; mais c'est seulement quand la chaux est éteinte qu'on y fait arriver le petit jus.

En raison en effet de la chaleur produite l'extinction de la chaux dans les petites eaux ne va pas sans déterminer la perte d'une certaine quantité de sucre. Selon des expériences de P. Beyers-

dorfer la destruction du sucre atteindrait 10 à 20 % du sucre des eaux sucrées employées à cette extinction. En conséquence, si on veut éviter cette perte il convient d'éteindre la chaux dans l'eau pure et de diluer ensuite le lait dans l'eau sucrée.

A la sortie de l'appareil producteur de lait de chaux il est bon de disposer un tamis pour séparer du lait de chaux des petits graviers que l'extincteur a laissés avec la chaux. Un bon tamisage du lait de chaux évite une usure des diverses pompes dans lesquelles passeront d'abord le lait de chaux puis les jus carbonatés.

Un lait de chaux convenablement tamisé ne doit contenir que des particules d'une dimension inférieure à un millimètre.

On emploie le plus souvent un tamis cylindrique tournant. Mais on a aussi recours à des appareils plus compliqués. Tel est le tamiseur *Koran* (fig. 56).

Cet appareil comporte un tamis conique fixe dans l'intérieur duquel tourne une partie mobile qui fait office de râclette et maintient la paroi sans cesse propre.

L'appareil Eisner et Meurens est formé par un cadre en fer cornière au fond duquel est fixé une tôle perforée très fine inclinée à 15° sur l'horizontale. Il est suspendu à un portique et est animé d'un rapide mouvement de va et vient très rapide (250 secousses à la minute).

Il est nécessaire de déterminer exactement la teneur véritable en oxyde de calcium des laits de chaux qu'on emploie. Lenart a révisé les tables employées jusqu'alors pour cette détermination et a publié (*Zeitschrift des Vereins der deutschen Zucker industrie* 1919) une table nouvelle que nous donnons ci-contre.

Le lait de chaux est pompé le plus souvent à l'aide d'une pompe à piston plongeur qu'on fait fonctionner constamment, un dispositif particulier ramenant le lait de chaux au malaxeur d'où on l'a pris lorsqu'on ne l'utilise pas. On évite ainsi l'obstruction qui ne manquerait pas de se produire par suite du dépôt de chaux.

On a aussi recours à l'emploi de chaux éteinte en poudre. L'appareil Lacouture comporte un dispositif qui permet d'éteindre la chaux avec la quantité d'eau juste suffisante pour obtenir le produit pulvérulent.

Comparaison pour la teneur des laits de chaux en oxyde de calcium et en hydroxyde de calcium entre les degrés Baumé, les degrés Brix et les poids spécifiques à 20° C.

DEGRÉS BAUMÉ	DEGRÉS BRIX	POIDS SPÉCIFIQUE	1 LITRE LAIT CONTIENT GRAMMES CaO	POUR CENT EN POIDS CaO	1 LITRE LAIT CONTIENT GRAMMES Ca (OH) ²	POUR CENT EN POIDS Ca (OH) ²
1,5	2,7	1,0085	10	0,99	13,2	1,31
2,7	4,8	1,017	20	1,96	26,4	2,59
3,7	6,7	1,0245	30	2,93	39,6	3,87
4,7	8,4	1,0315	40	3,88	52,8	5,13
5,7	10,3	1,039	50	4,81	66,1	6,36
6,7	12,0	1,046	60	5,74	79,3	7,58
7,6	13,7	1,0535	70	6,65	92,5	8,79
8,5	15,3	1,0605	80	7,54	105,7	9,96
9,5	17,1	1,0675	90	8,43	118,9	11,14
10,35	18,7	1,075	100	9,30	132,1	12,29
11,2	20,3	1,0825	110	10,16	145,3	13,43
12,1	21,9	1,0895	120	11,01	158,6	14,55
13,0	23,6	1,0965	130	11,86	171,8	15,67
13,9	25,1	1,104	140	12,68	185,0	16,76
14,7	26,7	1,111	150	13,50	198,2	17,84
15,55	28,2	1,1185	160	14,30	211,4	18,90
16,4	29,7	1,1255	170	15,10	224,6	19,95
17,2	31,3	1,1325	180	15,89	237,9	21,00
18,0	32,7	1,140	190	16,67	251,1	22,03
18,8	34,2	1,1475	200	17,43	264,3	23,03
19,6	35,7	1,1545	210	18,19	277,5	24,04
20,35	37,1	1,1615	220	18,94	290,7	25,03
21,1	38,5	1,1685	230	19,68	303,9	26,01
21,85	39,9	1,176	240	20,41	317,1	26,96
22,65	41,4	1,1835	250	21,12	330,4	27,91
23,3	42,8	1,1905	260	21,84	343,6	28,86
24,1	44,1	1,1975	270	22,55	356,8	29,80
24,8	45,5	1,205	280	23,24	370,0	30,71
25,5	46,8	1,2125	290	23,92	383,2	31,61
26,2	48,1	1,2195	300	24,60	396,4	32,51

La solubilité de la chaux dans les jus augmente avec la teneur en sucre et diminue avec la température.

A la température ordinaire, il se dissout une quantité de chaux qui est, avec la quantité de sucre contenu dans le jus, dans un rapport tel qu'on peut admettre qu'il se forme un monosaccharate. Mais celui-ci est en partie détruit à chaud. A 80° pour un jus de 10 à 12 % de sucre il se dissout 0,25 à 0,30 % de chaux.

Il est extrêmement important de chauler avec la quantité de chaux exacte qu'on a décidé d'employer. Si le lait de chaux a toujours exactement la même composition, il est simple d'en verser le même volume dans chaque chaudière. Mais il est nécessaire de faire varier ce volume si la composition du lait de chaux varie. Or avec sa composition varie aussi sa densité. Il est donc utile pour régulariser le travail de recourir à l'emploi d'un appareil automatique dit balance à lait de chaux automatique. L'appareil Cerny (fig. 57) est un des types les plus simples. Il comporte un flotteur, suspendu dans un vase mesureur, et relié à un levier à contre-poids muni d'une aiguille. Ce flotteur est réglable et on fixe sa position pour qu'un volume donné de lait de chaux corresponde à la quantité à employer ; on fixe cette position de telle sorte que l'aiguille soit en regard d'un repère donné. Si à ce moment on ouvre le robinet de vidange du mesureur on a mis la quantité de chaux convenable. Si la densité du lait de chaux varie à la position d'équilibre du levier correspond un volume différent de lait de chaux. Il suffit donc à l'ouvrier chaaleur d'ouvrir le robinet de remplissage du mesureur, et de le fermer au moment où l'aiguille arrive en regard de son repère et alors d'ouvrir le robinet de vidange. L'appareil corrige donc automatiquement les différences de teneurs en chaux de lait.

La figure 59 représente l'installation d'un distributeur automatique Paulik qui verse alternativement dans deux bacs la quantité de chaux déterminée exactement suivant le principe de l'appareil ci-dessus décrit.

Chaulage par la chaux anhydre.

Ce procédé a bien entendu l'avantage d'éviter une dilution

supplémentaire du jus par l'eau entrant dans la préparation du lait de chaux.

Il exige l'emploi d'appareils chaumeurs. Le type de ces appareils est le chaumeur König. C'est une cuve circulaire qui est munie d'un mouvement commandé par engrenages. L'axe vertical porte un panier cylindrique de tôle perforée dans lequel on met la chaux. Le panier est entraîné dans le mouvement de rotation de l'axe. Des palettes sont fixées au dessous du panier. On verse dans le panier un poids de chaux correspondant à la quantité qui doit être mise dans le volume de jus correspondant à la capacité du chaumeur. La chaux s'éteint au contact du jus et, sous l'influence du mouvement produit par les palettes, s'y dissout peu à peu tandis que les pierres restent sur le panier.

Dans les chaumeurs Dufay les paniers qui reçoivent la chaux sont suspendus dans un bac rectangulaire. Les paniers sont animés d'un mouvement de va et vient.

Le chaulage avec de la chaux anhydre en poudre évite l'emploi de chaumeurs semblables à ceux que nous venons d'indiquer : comme pour le chaulage au lait de chaux un simple bac à agitateur est suffisant.

On a généralement renoncé à l'emploi de ce mode de chaulage car, en pratique, la chaux anhydre en morceaux se dissout convenablement dans le jus chaud et la pulvérisation de la chaux est inutile. Il est cependant pratiqué dans une des plus grandes sucreries de France qui compte de nombreuses râperies.

Le jus à chauler ne doit pas être à une température trop élevée car la chaux en s'éteignant produit un notable dégagement de chaleur qui détermine des élévations locales de température. On pare à cet inconvénient agitant très sérieusement le jus dans la cuve.

L'avantage de l'emploi de la chaux sous une forme ou sous une autre est de faible importance en soi, c'est-à-dire quant à l'action chimique sur les jus ; au total les avis semblent plutôt en faveur de l'emploi du lait de chaux puisque en France la majorité des usines travaillent par ce moyen. Mais ce qui peut décider de l'emploi de l'une ou l'autre forme de chaulage c'est bien plutôt une considération relative à la manutention très différente qui doit être réalisée dans chacun des cas. La disposition générale de l'usine détermine bien souvent l'emploi de telle ou telle solution ; suivant la

disposition de l'usine il peut en effet être plus facile de pomper la chaux à l'état de lait que de transporter la chaux en morceaux.

L'introduction du lait de chaux se fait soit directement dans le bac jaugeur soit dans un bac chaaleur spécial.

Bien entendu l'introduction de la chaux dans le bac jaugeur, qui n'est pas certes à conseiller, ne peut se pratiquer que dans le cas où on n'effectue pas le chauffage préalablement au chaulage.

L'action de la chaux n'étant pas instantanée et pouvant même exiger un temps notable avec certaines chaux il est bon d'effectuer le chaulage dans des bacs munis d'agitateurs dans lesquels la chaux reste assez longtemps en contact avec le jus d'acide carbonique.

Saturation par l'acide carbonique.

Après la défécation, les jus sont traités par l'acide carbonique qui précipite l'excès de chaux.

Les jus troubles sont conduits dans la chaudière à carbonater, à moins qu'on emploie une seule cuve pour chauler et carbonater.

Phénomènes qui se produisent sous l'action de l'acide carbonique.

Les phénomènes chimiques qui se produisent dans la saturation des jus n'ont pas la simplicité qu'on serait tenté de leur attribuer étant donné que, au total, on a mis un excès de chaux, qu'on fait agir de l'acide carbonique en excès et qu'on sépare du carbonate de chaux.

Quand on commence à faire passer le gaz carbonique il ne se forme pas tout d'abord du carbonate de chaux exclusivement, mais bien un précipité contenant en même temps, du sucro-carbonate et peut être même de la chaux.

Ce précipité est gélatineux et renferme de très grandes quantités de sucre. Le sucre est en quantité d'autant plus grande que le jus est plus froid et plus concentré. Mais l'excès de gaz carbonique détruit cette combinaison et à la fin de la saturation, si toutefois celle-ci est bien réelle, la quantité de sucre insolubilisé est nulle. Mais il peut arriver dans des circonstances qu'il n'est pas toujours facile de bien préciser qu'une certaine quantité de sucrate reste

indécomposée et soit entraînée dans les écumes même après saturation normale. Une surchauffe locale, due par exemple à l'addition de chaux sèche dans un jus déjà à température élevée, semble être une cause habituelle de cette anomalie. Un gaz carbonique pauvre en favorise aussi la production.

La sursaturation, c'est-à-dire l'excès d'acide carbonique présente l'inconvénient de redissoudre une partie des sels qui se sont d'abord précipités.

La présence de matières pectiques en excès, caractéristique de certaines betteraves altérées, donne lieu à la production de combinaisons analogues à celles dont nous avons parlé avec le sucre lui-même, mais plus difficiles à détruire par l'excès d'acide carbonique. L'élévation de température à la diffusion favorise la production de ce phénomène. Un des inconvénients qui l'accompagnent est la production de mousses abondantes.

L'intéressante observation de Périer et Possoz (1859) qui amena à la double carbonatation est la suivante : si on forme au sein d'un jus de betteraves un précipité de carbonate de chaux la matière colorante se fixe dans le précipité sous forme d'une laque insoluble. *Mais il faut que le liquide reste alcalin.*

C'est cette observation essentielle qui constitue le mérite de Périer et Possoz. L'autrichien Jellinek avait bien plus tard, en 1864, eu l'idée d'ajouter au jus une forte proportion de chaux et de faire passer le courant d'acide carbonique sans séparation préalable d'écumes et son procédé fut appliqué sous le nom de carbonatation trouble.

Mais avec le procédé Jellinek, ou on laissait un trop grand excès de chaux gênant dans la suite du travail, ou par une action d'acide carbonique poussée trop loin on redissolvait les impuretés. Il a fallu les observations importantes de Possoz pour que la sucrerie pût être dotée d'un procédé d'épuration vraiment pratique, celui de la double carbonatation. Si on ajoute un excès d'acide carbonique il y a redissolution du précipité et par conséquent mise en liberté de la matière colorante. Donc, dans une première opération, précipitation avec les composés calcaïques insolubles de la matière colorante par saturation à l'aide de l'acide carbonique d'une partie seulement de la chaux ajoutée, puis séparation de ces précipités par filtration.

Le liquide filtré reçoit à nouveau une certaine quantité de chaux puis est soumis à une saturation par l'acide carbonique, poussée cette fois aussi près que possible de la neutralité. Une nouvelle addition de chaux est nécessaire pour former un précipité

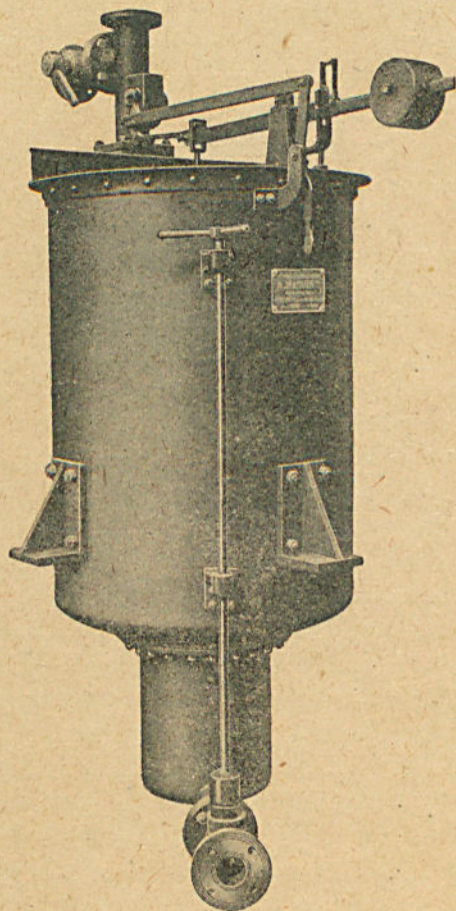


Fig. 57. — Balance à lait de chaux automatique (Etablissements Maguin).

assez abondant afin que sa séparation soit plus facile et aussi pour qu'une nouvelle formation de laque avec élimination de matières colorantes qui auraient échappé à l'action de la première opération se produise.

On admet habituellement qu'il suffit d'une faible proportion de chaux pour déterminer la floculation des impuretés précipitables. L'excès de chaux servirait après sa transformation en carbonate, à constituer un substratum qui permet facilement de filtrer. En

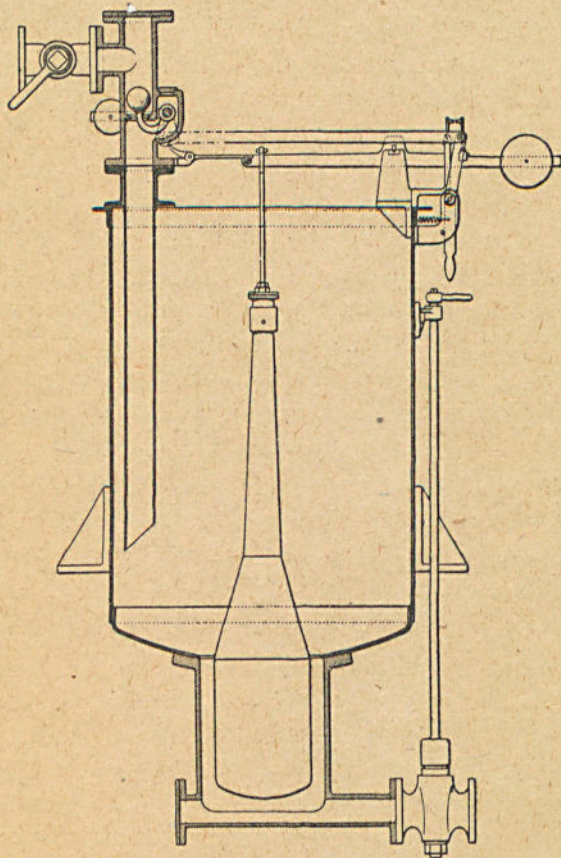


Fig. 58.— Balance à lait de chaux automatique. Coupe (Etablissements Maguin).

réalité autour des granules de carbonate de chaux il y a précipitation par absorption, d'une certaine quantité d'impuretés.

Il y a déjà longtemps que l'action épurante propre du carbonate de chaux a été soupçonnée puisque c'est dès 1889 que Kuthe et Anders employaient du carbonate de chaux ajouté directement au jus. Ce procédé a été repris par divers inventeurs mais est en somme peu appliqué.

Kowaski et Kozakowski, reprenant des idées émises par Pehl en 1869 ont proposé en 1906 l'emploi de la quantité de chaux strictement nécessaire à la

coagulation. Capelle et Baerts (Sucrerie Belge, 1^{er} avril 1925) ont fait de nombreuses déterminations qui établissent la nécessité pour augmenter l'épuration, d'employer une quantité de chaux très supérieure à celle qui est indispensable.

La deuxième carbonatation se fait sur le jus de première carbonatation, après passage de celui-ci au filtre-presse pour séparer les écumes puis addition d'une nouvelle quantité de chaux et réchauffage à une température de 90 à 95°.

La quantité de chaux qu'on ajoute est d'environ 2 litres de lait de chaux à 22° Baumé par hectolitre de jus.

Si on ne réchauffait pas les jus ou si on les réchauffait insuffisamment pour la deuxième carbonatation on produirait du sucrate de chaux insoluble.

La saturation du jus de deuxième carbonatation par l'acide carbonique doit être poussée plus loin que celle du jus de 1^{re} carbonatation. On ne doit cependant jamais aller jusqu'à la neutralité. Il importe qu'après évaporation du jus à l'état de sirop il demeure dans celui-ci une franche alcalinité et que la solution alcoolique de phénol phtaléine y donne nettement une coloration rose.

L'excès d'acide carbonique produit une coloration des jus surtout lorsque ceux-ci contiennent une quantité si faible qu'elle soit de glucose par suite de la solubilisation de glucate de fer.

On pratique la carbonatation le plus souvent encore d'une manière intermittente. On emplit une chaudière de jus chaulé, on y produit la saturation par l'acide carbonique, puis quand le point de saturation est obtenu on vide la chaudière et on l'emplit à nouveau de jus chaulé. Un notable progrès se trouve réalisé par l'emploi de la carbonatation continue, c'est-à-dire d'un dispositif tel que le jus chaulé entre sans discontinuité et qu'il en sort au point voulu de saturation.

C'est un des avantages de la carbonatation continue d'éviter la formation de précipité de sucro-carbonate dont nous avons montré l'inconvénient. Dans la carbonatation continue en effet on obtient dès le début de l'action de l'acide carbonique un jus assez fortement saturé. On a en somme une saturation beaucoup plus rapide et beaucoup plus régulière, mais cet avantage ne se produit que si on a réalisé une défécation particulièrement soignée et aussi si le gaz est riche et que le fonctionnement de la pompe à

gaz soit tel qu'elle puisse toujours fournir du gaz en quantité suffisante.

Pour que le sulfate de chaux contenu dans les jus se précipite il faut que la chaux soit en excès. Quand il n'y a plus de chaux

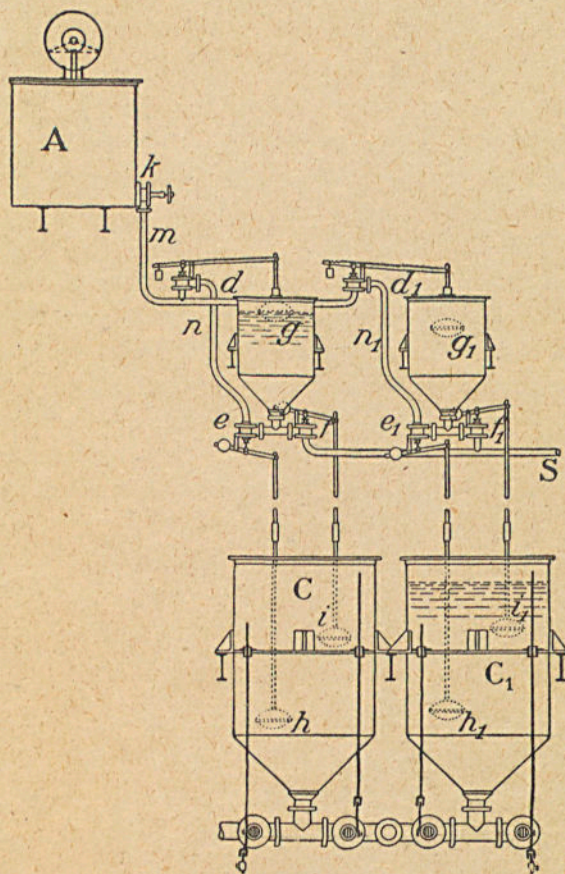
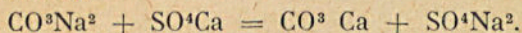


Fig. 59. — Distributeur automatique de lait de chaux Paulik.

libre et que les alcalis sont carbonatés ils agissent sur le sulfate de chaux et donnent



On pourrait selon Stanek remplacer le carbonate de soude par du sulfate de soude pour éliminer la chaux.

J. de Grobert a montré (Congrès int. de chimie 1912 New-York) qu'en employant la dose de $\text{CO}^3 \text{Na}^2$ théorique on ne précipite que 50 % de la chaux combinée. Avec une dose double on élimine seulement 80 % de chaux.

Le carbonate de soude non employé à neutraliser la chaux est partiellement neutralisé par les amides, le surplus reste en solution : la présence du sucre empêche en effet la précipitation du carbonate de chaux.

L'emploi du sulfate de soude aurait même effet incomplet. Seul l'emploi de baryte est possible, sauf empêchement en pratique par le prix.

On est donc forcé de recourir au carbonate de soude pour éliminer la chaux lorsque celle-ci se trouve en excès dans le jus.

C'est une question controversée de savoir si, conformément à l'opinion de Block le carbonate de chaux se dépose pendant la saturation sous forme de cristaux ou si, comme le pense Claassen d'après ses observations microscopiques sur les écumes de sucrerie, cette cristallisation n'est pas certaine.

Le rôle exact que jouent les particules organiques en suspension dans le jus n'est pas établi non plus.

L'importance de l'état cristallin quant à la facilité de filtration ne semble pas grande selon Claassen : ce qui importe c'est la dimension des grains, qu'ils soient à l'état amorphe, sous forme de sphère ou sous toute autre forme ou qu'ils aient pris dans la chaudière à carbonater l'état cristallin.

La régularité de la carbonatation est un des points les plus importants de la fabrication ; aussi doit-on exercer un contrôle constant, d'ailleurs facile, pour que le point de saturation soit exactement atteint. C'est qu'en effet un excès de chaux est aussi à redouter qu'un excès d'acide carbonique. Si le jus contient trop de chaux il filtre lentement, les toiles se détériorent et le jus est trouble. S'il contient un excès d'acide carbonique les impuretés se redissolvent et on obtient un jus coloré avec, par la suite, tous les inconvénients d'un jus mal épuré.

Il se trouve qu'un jus saturé exactement se décante avec une grande facilité : il y a donc là un moyen grossier de voir si la carbonatation a été poussée assez loin et un simple essai, fait en prélevant le jus avec une cuiller et examinant si le précipité se dépose bien,

donne déjà une bonne indication à laquelle il ne suffit d'ailleurs pas de s'en tenir. Un essai d'alcalinité doit être fait pour chaque chaudière. Il est d'ailleurs simple et rapide.

L'alcalinité du jus de première carbonatation doit être maintenue à 100 grammes d'alcalinité exprimée en chaux par hectolitre de jus.

Il va sans dire que l'alcalinité n'est pas due exclusivement à de la chaux, mais qu'elle est produite par diverses bases, potasse, soude, ammoniacque, à l'état de carbonate ; et même, dans une épuration régulière de betteraves normales, il ne doit pour ainsi dire pas y avoir de chaux en excès.

Le jus de deuxième carbonatation doit avoir, au moment où on cesse de faire agir l'acide carbonique, une alcalinité de 40 grammes de chaux par hectolitre au maximum.

On a quelquefois recours à une troisième carbonatation dans le but d'avoir des jus mieux épurés et une cristallisation plus facile. Chaque carbonatation enlève en effet des impuretés et, à condition surtout qu'elle soit suivie d'une bonne filtration, une troisième carbonatation est efficace. Cependant cette pratique est assez exceptionnelle. On demande plutôt au traitement par l'acide sulfureux, et mieux encore au traitement par les hydrosulfites, l'épuration supplémentaire que donne la troisième carbonatation. Cependant certains fabricants attachent un tel prix à une épuration des jus poussée aussi loin que possible qu'ils emploient l'acide sulfureux après une troisième carbonatation.

Mais il ne faut pas perdre de vue qu'une troisième carbonatation ne peut pas être efficace pour corriger une première carbonatation défectueuse ; celle-ci est essentielle et dès qu'on descend à moins de 90 gr d'alcalinité par hectolitre de jus, on a par la suite un mauvais travail auquel rien ne porte remède.

Pratique de la carbonatation.

Nous avons vu que le gaz carbonique est aspiré par une pompe à la partie supérieure du four à chaux et que c'est cette aspiration qui détermine le tirage du four. Il est surtout indispensable que sa marche soit très régulièrement assurée. On l'actionne toujours par un moteur indépendant. De gros diamètres sont néces-

saies pour les conduites qui amènent le gaz aux chaudières à carbonater afin de n'avoir pas de pertes de charge trop élevées.

Chaudières à carbonater.

Les chaudières à carbonater sont rectangulaires ou cylindriques toujours très hautes. On y maintient une hauteur de 2 m. à 2 m, 50 de jus afin que l'acide carbonique ait le temps d'agir sur la chaux. Elles ont une capacité de 10 à 12 mètres cubes le plus souvent et une hauteur de 4 mètres environ. Cependant comme le montrent les figures ci-jointes on en fait parfois de beaucoup plus grandes.

Les chaudières cylindriques sont plus économiques parce qu'elles dispensent des entretoises nécessaires pour assurer la résistance des chaudières rectangulaires ; mais celles-ci occupent moins de place.

On renonce généralement à l'emploi du chauffage dans la chaudière même, et les jus sont chauffés en dehors de la chaudière par des réchauffeurs tubulaires ainsi que nous l'avons précédemment indiqué. Lorsque le chauffage a lieu dans la chaudière elle-même elle est munie de serpentins de cuivre.

On trouve plus économique de réchauffer le jus par de la vapeur prise à l'appareil d'évaporation, ce qui est possible à l'aide d'un réchauffeur tubulaire dont on peut augmenter la surface de chauffe et ne l'est pas avec un serpentin.

La suppression des serpentins permet d'ailleurs un nettoyage plus facile des chaudières. Le chauffage par réchauffeur, en dehors de son avantage économique permet en outre un chauffage plus régulier.

L'absorption du gaz carbonique par les jus chaulés est loin d'être totale. Dans les conditions les meilleures elle est de 75 % et descend souvent au-dessous de 30 %. Il va sans dire que la disposition rationnelle des appareils de distribution de l'acide carbonique exerce une grande influence. La richesse en gaz est des plus importantes. C'est une loi générale qu'un gaz actif dilué dans un gaz inerte voit son activité diminuer considérablement. C'est pourquoi, en dehors d'autres considérations économiques quant à sa production, il est nécessaire de produire un gaz aussi riche que possible. Bien entendu quand on pousse très loin la saturation,

c'est-à-dire quand le gaz se trouve en contact avec un liquide très peu alcalin, ayant peu d'affinité, pour lui, le taux d'utilisation diminue beaucoup. Mais le facteur essentiel est la hauteur du jus. On conçoit que si le gaz n'éprouve pas de résistance du fait d'une colonne de jus trop peu importante il acquiert une grande vitesse à

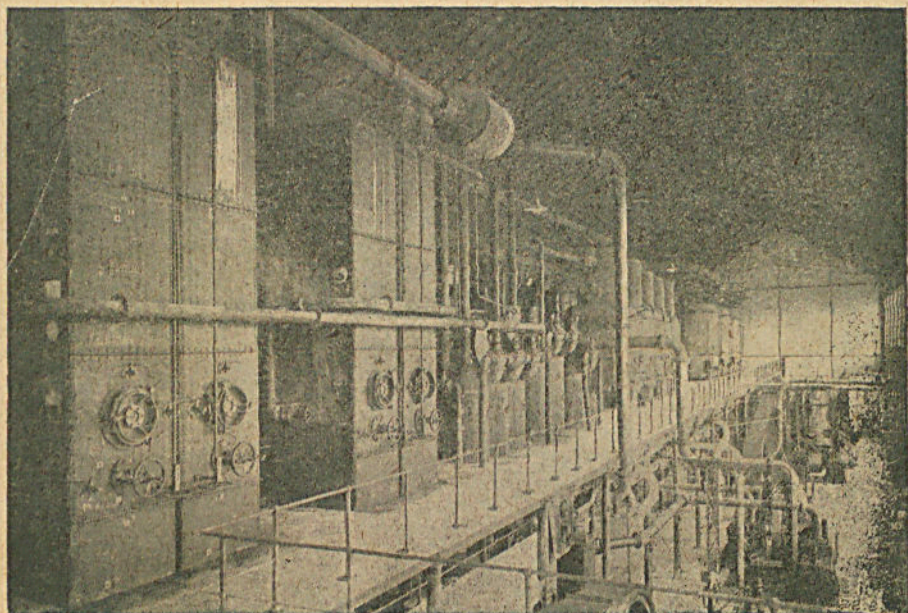


Fig. 60. — Chaudières à carbonater rectangulaires (Cliché Fives-Lille).

travers la couche liquide et la traverse en agissant moins. On ne peut cependant pas employer une trop grande hauteur de jus à cause de la mousse produite et aussi pour ne pas être obligé d'envoyer le gaz avec une trop forte pression.

Le gaz carbonique est amené au fond des chaudières à carbonater et barbotte à travers le jus chaulé. Une hauteur de jus de 2 à 3 mètres au maximum est celle qui convient pour une marche normale. Des dispositions particulières doivent être prises pour assurer la sortie régulière du gaz et éviter l'obstruction des orifices de sortie. On les débouche parfois par l'envoi d'un jet de vapeur

en même temps que le gaz. Quand on emploie comme distributeur de simples tubes percés de trous ceux-ci sont pratiqués à la partie inférieure. On a souvent recours à un distributeur plus compliqué ; par exemple dans l'appareil Richter le gaz arrive dans un grand tube horizontal ou légèrement incliné et percé d'un grand nombre de fentes pratiquées dans des plans perpendiculaires à l'axe et occupant environ la moitié de la circonférence ; un arbre tourne à l'intérieur du tuyau et porte des lames qui passent dans ces fentes ; en faisant tourner l'arbre de temps à autre on maintient les fentes libres. Enfin on emploie des distributeurs à tourniquets qui tournent sous la pression même du gaz.

La saturation du jus donne lieu à la formation d'une grande quantité de mousse qui pourrait faire déborder la chaudière malgré la hauteur qu'on laisse libre au-dessus du jus. On combat la mousse soit à l'aide d'un agitateur à palettes soit à l'aide d'une injection de vapeur tangentielle à la surface libre du liquide. On a aussi recours à l'emploi de beurre de coco ; bien entendu il faut éviter d'en mettre trop sous peine de rendre la filtration difficile. De plus les savons qui se forment par l'action des corps gras provoquent des dépôts à l'évaporation. Au total il y a dans la production normale du four à chaux un excès d'acide carbonique par rapport à la chaux. Si donc on doit évidemment éviter d'en perdre trop ce qui arrive avec des chaudières de trop faible hauteur, il ne faut pas non plus en vue d'arriver à une parfaite utilisation du gaz exagérer le travail de la pompe en donnant une trop grande hauteur à la colonne de jus.

Les chaudières de carbonatation comportent encore en dehors des soupapes d'arrivée de jus et d'une porte de vidange, les accessoires suivants :

Un tuyau de trop plein :

Un robinet pour le prélèvement des échantillons en vue du contrôle de la carbonatation. Ce robinet sert en même temps de jaugeur. On le maintient ouvert pendant l'emplissage et on arrête celui-ci lorsque le robinet laisse écouler du liquide.

Une cheminée d'évacuation de l'acide carbonique non utilisé. Celle-ci doit être assez large.

Le gaz qui se dégage entraîne d'importantes quantités de vapeur d'eau et de jus à l'état vésiculaire qui pourrait constituer une perte ; aussi a-t-on soin de munir la cheminée d'évacuation d'un dispositif qui recueille les gouttelettes entraînées. On place quelquefois dans les chaudières à carbonater un fond incliné qui en facilite la vidange.

Les dimensions qu'on donne habituellement aux chaudières sont de 5 à 7 m. de hauteur ; on les fait le plus souvent d'une lar-

teur de 1,20 et d'une longueur de 3 ; la capacité utile de ces chaudières est d'environ 80 à 100 hectolitres.

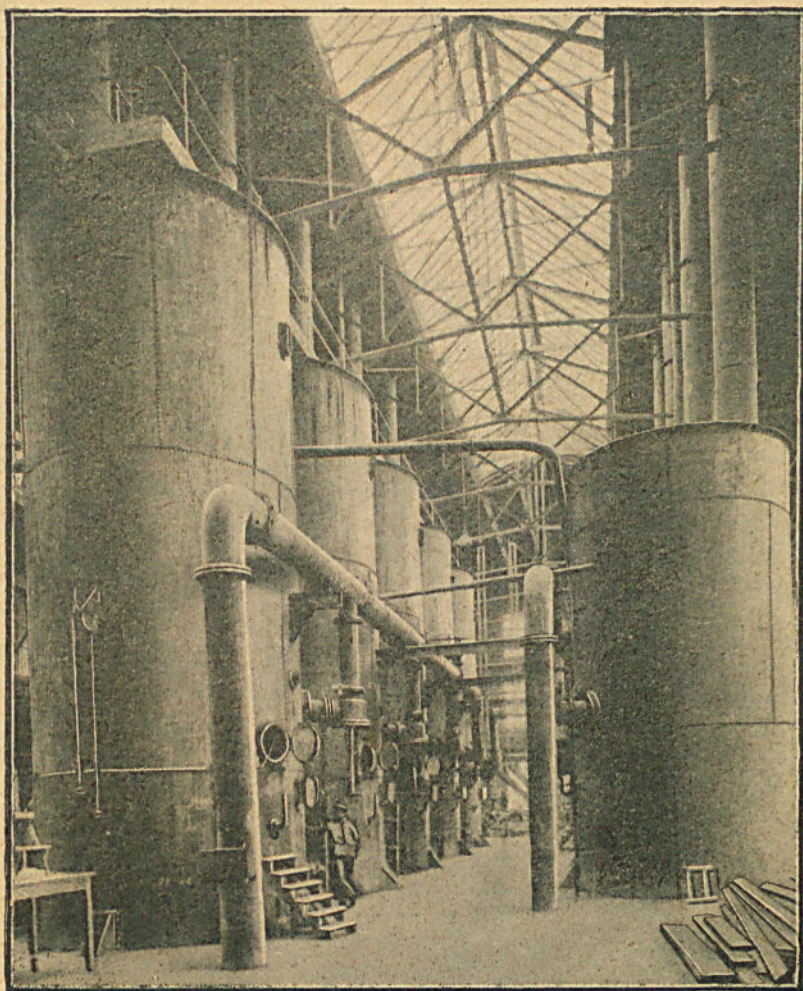


Fig. 61. — Les chaudières à carbonater de la sucrerie d'Eppeville (à gauche, chaudières de 1^{re} carbonatation ; à droite, chaudières de 2^e carbonatation). (Fives-Lille).

Dans certaines usines on emploie des chaudières à carbonater cylindriques. Elles ont l'inconvénient d'être plus encombrantes,

mais elles offrent le très réel avantage d'éviter l'irrégularité de composition du jus par suite de la stagnation au voisinage des angles qui se produit avec les chaudières à section rectangulaire.

L'emploi de grandes chaudières présente un avantage au point de vue de la main d'œuvre. Il est nécessaire quel que soit la capacité de l'usine que le nombre des chaudières ne soit pas supérieur à quatre afin qu'un seul ouvrier puisse en assurer le service.

Le gaz carbonique arrive habituellement dans les chaudières à carbonater à une température qui est assez voisine de 25°. Il arrive dans un jus qui est à 70° environ. Il s'échauffe et sort à une température qui est d'environ 65°. Il emporte donc du jus une certaine quantité de chaleur. La chaleur spécifique de ce gaz étant 0,20 environ le nombre de calories emportées par kilog de gaz est $0,2 \times (65 - 25) = 8$ cal. Il faut 3 k, 15 environ de gaz pour précipiter 1 k. de chaux. Il y aura donc par hect. de jus à 2,0 de chaux enlèvement d'une quantité de calories de

$$8 \times 3,15 \times 2 = 50 \text{ cal.}$$

D'autre part il y a perte de calories par la vapeur qui sature le gaz sorti de la chaudière ; cette quantité de chaleur est difficile à fixer en raison de la diversité des conditions de l'installation.

Mais la formation de carbonate de chaux se produit avec un dégagement de chaleur. La chaleur moléculaire de formation en partant de la chaux et de l'acide carbonique est de 25 cal. pour 56 gr. de chaux soit 445 cal. pour 1 kil. et 990 cal. pour les 2 kilos de chaux qui sont à saturer par hectolitre.

La quantité de chaleur, produite par la saturation de la chaux à la deuxième carbonatation est très faible et peut toujours être négligée.

Nous mentionnons ici cette donnée parce qu'il y a lieu d'en tenir compte quand on veut faire un bilan exact des calories mises en jeu aux divers postes de la fabrication.

En réalité à la carbonatation, il y a gain ou perte de chaleur suivant que les jus, plus ou moins chauds dans la chaudière, cèdent au gaz pour l'échauffer et à l'eau entraînée sous forme de vapeur un nombre de calories inférieur ou supérieur à celui qui correspond à la réaction. La perte de calorique par les chaudières à carbonater est considérable et ces appareils devraient toujours être calorifugés (Lazewcki.)

Bouillissage des jus.

Il est nécessaire de maintenir le jus saturé par l'acide carbonique à la température d'ébullition de manière à décomposer les bicarbonates ; on préfère souvent produire cette opération en dehors

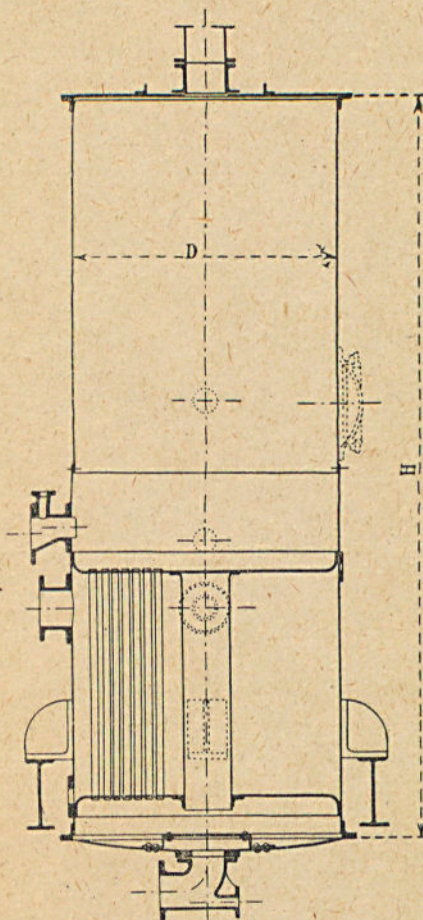


Fig. 62. — Bouillisseur, vu en coupe (Schneider et C^{ie}.)

de la chaudière à carbonater, où on atteint difficilement la température nécessaire. Elle s'effectue dans le *bouillisseur* qui est constitué

par un réchauffeur ouvert, chauffé à la vapeur d'échappement.

Le faisceau tubulaire de ce réchauffeur (fig 62) est surmonté d'une hausse suffisamment élevée pour que les mousses abondantes formées par l'ébullition et le dégagement d'acide carbonique provenant de la décomposition du bicarbonate puissent y être contenues. La fig. 63 montre la vue extérieure de cet appareil avec ses différents accessoires (thermomètre, glace, robinet à beurre).

Carbonatation continue.

La carbonatation continue, telle qu'elle a été le plus souvent pratiquée apporte au total, malgré ses avantages théoriques incontestables une complication de matériel qui n'est pas compensée par une économie de main d'œuvre, en sorte que sa généralisation ne s'est pas produite encore.

Nous donnons ci-dessous la description des procédés les plus intéressants, sinon les plus répandus.

L'idée la plus logique qui soit venue à l'esprit des inventeurs est celle qui consiste à faire circuler le jus à carbonater et le gaz en sens inverse ; mais ce principe de méthodicit  a, en fait, contre lui la production des mousses. Les appareils qui donnent les meilleurs résultats ne sont pas basés sur ce principe.

On a cependant maintenant réalisé des appareils qui ne présentent pas de complication et la carbonatation continue a maintenant toutes raisons de se généraliser.

Il convient de noter que si la carbonatation continue n'est pas encore employée d'une manière générale son emploi, à titre exceptionnel, est de date fort ancienne (Cail 1859). Les difficultés qu'elle a rencontrées proviennent de ce que plusieurs facteurs interviennent pour assurer une carbonatation régulière :

1. Il faut une charge de liquide constante dans le récipient où se fait la carbonatation.

2. La pression du gaz doit être également constante.

3. L'alcalinité du liquide doit être toujours la même.

4. Enfin il faut une teneur constante du gaz en acide carbonique.

La première action qui se produit dans la carbonatation c'est la formation d'un sucre-carbonate de chaux, qui donne des mousses. Ce produit disparaît ensuite et sa disparition est marquée par la

fin de la mousse. Si on fait arriver sur un jus très appauvri en chaux de l'acide carbonique sous forme d'un gaz riche il y a chance de

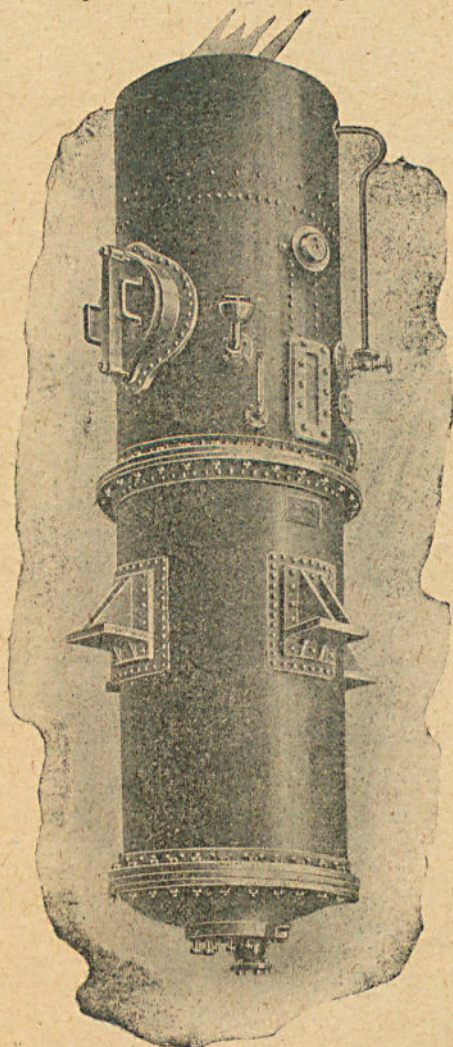


Fig. 63. — Bouillisseur. Vue extérieure (Etablissements Maguin).

dépasser le point de saturation. Il est plus logique de faire passer sur un tel jus un gaz lui-même peu riche. Le réglage sera donc plus facile, en dehors de la question de la mousse, si on fait marcher parallèlement le gaz et le jus à chauffer.

Horsin-Déon a réalisé un carbonateur continu, basé sur ce principe ; il a donné à son appareil la forme d'un filtre-presse comportant dix plateaux mobiles.

Le gaz arrive par le plateau de tête ou plateau fixe. Ce plateau comporte donc un robinet d'admission du gaz carbonique et en outre un robinet d'admission de vapeur de chauffage, l'admission du jus chaulé et la sortie des eaux condensées. Les gaz qui ont passé par l'appareil s'échappent par un vase de sûreté placé aussi sur le plateau fixe et les jus carbonatés s'écoulent par un déversoir placé au bas du dernier plateau.

Dans le système de *carbonatation continue de Quarez* le jus et le gaz arrivent à la partie supérieure d'une colonne qui surmonte la chaudière à carbonater. Le jus qui arrive sous pression passe à travers une tôle perforée et se pulvérise, ce qui multiplie les surfaces de contact. Le jus tombe sur une série de disques supportés par une chaîne qui fonctionnent comme les plateaux d'une colonne à rectifier les alcools et prolongent le contact entre le gaz et le jus. Arrivé à la partie inférieure de cette colonne le jus pénètre dans la chaudière où des chicanes achèvent de faciliter la carbonatation.

A un certain niveau de cette chaudière une soupape permet le passage du liquide dans un petit bac d'épreuve. Dans ce bac on a disposé une cloison mobile verticale formant registre, qui descend vers le fond, et ne laisse passer que du jus exempt de toute mousse. Un flotteur placé dans la chaudière indique le niveau du jus. Quand l'appareil fonctionne bien ce niveau doit être constant. Le flotteur est muni d'une tige qui agit sur l'arrivée du jus. C'est donc par l'arrivée du jus que se fait le réglage, l'arrivée du gaz étant toujours ouverte à plein.

Carbonatation continue Camuset. — Ce procédé repose sur un principe tout différent des précédents.

Dans ce système on a recours, pour augmenter la surface de contact du liquide et du gaz qui doivent entrer en réaction, à la pulvérisation des deux fluides. Le jus chaulé est en effet introduit sous forme de brouillard par des pulvérisateurs, dans une chambre close où se renouvelle l'atmosphère d'acide carbonique. La carbonatation est instantanée. En réglant l'admission du gaz dans la chambre on arrête la carbonatation au point voulu, ou plutôt un peu au-dessous, l'opération s'achevant dans un récipient où se

rendent les gaz et le jus et où celui-ci est soumis à l'action d'un agitateur mécanique formé de bras en hélice.

L'appareil *Reboux* (fig.65) est constitué par quatre tubes de fonte assemblés deux à deux en forme de V. Ils forment ainsi quatre plans inclinés. L'injection de gaz peut se faire au somme

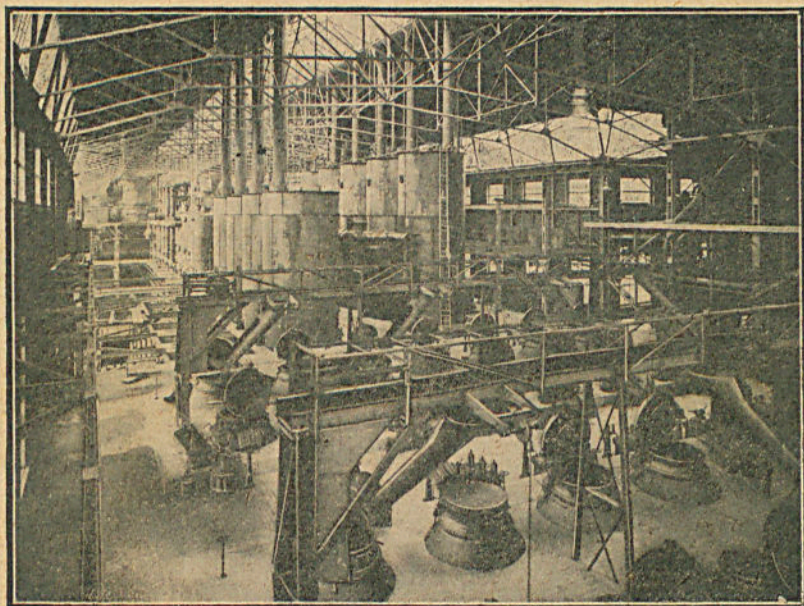


Fig. 64. — Vue intérieure de la sucrerie d'Eppeville montrant les deux batteries de diffusion et les chaudières à carbonater (Fives-Lille).

de chacun des V. Le jus chaulé arrive par la partie basse de l'appareil. Il est fortement divisé par le courant gazeux. Il suffit habituellement d'injecter le gaz par le premier sommet des V. On règle la sortie du jus carbonaté par une vanne qui est placée à la partie supérieure. On a là encore une marche parallèle du jus et du gaz.

L'appareil *Cail* était formé d'un cylindre vertical dans lequel étaient placés des plateaux horizontaux formant chicane. Ceux-ci sont perforés, sauf là où le jus arrivant par le haut de l'appareil tombe d'un plateau dans l'autre. Le gaz arrive au contraire par le bas et monte en traversant les plateaux perforés.

Carbonatation continue Naudet.

Ce système qui fonctionne fort bien ne repose pas sur le principe de la circulation méthodique.

Le jus venant d'un réservoir en charge et l'acide carbonique arrivent ensemble sous un faux fond conique perforé. Ils réagissent l'un sur l'autre dès qu'ils sont en contact. Si les deux éléments qui doivent intervenir sont en proportion convenable le niveau dans la chaudière demeure constant. Si l'acide carbonique fait défaut, le liquide devient plus visqueux il s'écoule moins

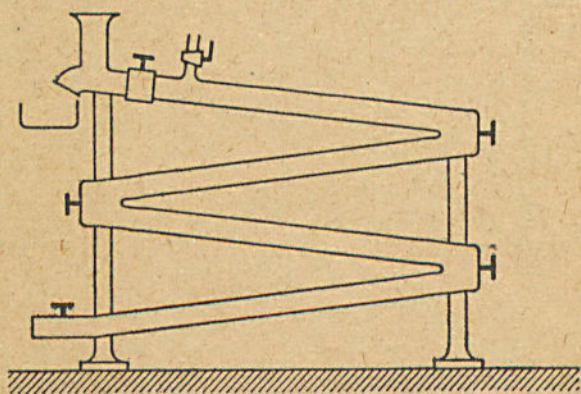


Fig. 65. — Carbonatation continue Reboux.

facilement hors de la chaudière à carbonater d'où il doit se rendre dans une chaudière à niveau constant. Son niveau s'élève alors dans la chaudière où se fait la réaction. On dispose à côté de cette chaudière un réservoir qui communique largement avec elle, et dans laquelle donc le niveau est le même. Dans ce réservoir un flotteur suit les fluctuations du liquide.

Le réglage se fait par l'arrivée du liquide, le gaz étant toujours admis à pleine ouverture.

M. Jules Bothy (*Bull. assoc. chim. de Sucrerie et de Distillerie*, mai 1924) a soumis au calcul la détermination du temps nécessaire à la carbonatation. Les résultats de son étude montrent que ce temps est si court que M. Naudet a justement employé le qualificatif d'instantané. Pour une division suffisante des fluides en

présence il suffit que le gaz reste $\frac{65}{100}$ de seconde pour traverser la couche de jus.

Ainsi selon M. Bothy le volume réellement nécessaire pour

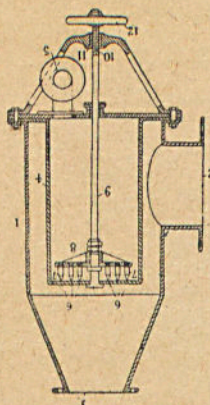


Fig. 66. — Distributeur à acide carbonique Asselberg.

effectuer la carbonatation continue est très réduit.

Système Asselberg.

Le principe sur lequel repose le fonctionnement de la carbo-

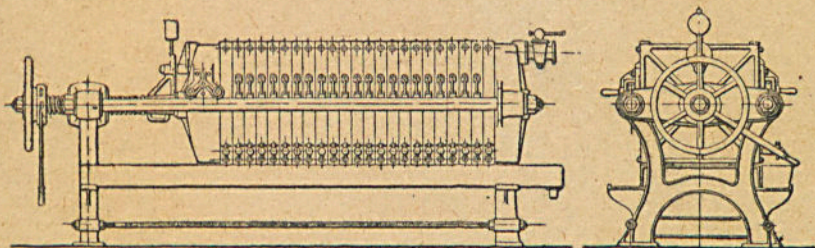


Fig. 67. — Filtre-Press (Société des Constructions mécaniques de Stains).

natation continue suivant le système Asselberg est celui de la pompe Beduwé.

L'appareil employé est formé d'un tube en U vertical de 12 m. à branches inégales. Dans la grande branche arrive, par en bas, le gaz carbonique tandis que le jus à carbonater arrive par en haut dans la petite branche.

Le fonctionnement de cet appareil comporte une allure de la pompe à gaz à plus grande pression.

L'auteur a constaté une diminution notable de la quantité de chaux employée. Cette assertion reçoit une vérification certaine du fait que, à la sucrerie de Groningue en Hollande où cet appareil est employé on a pu faire marcher l'usine avec un seul four à chaux

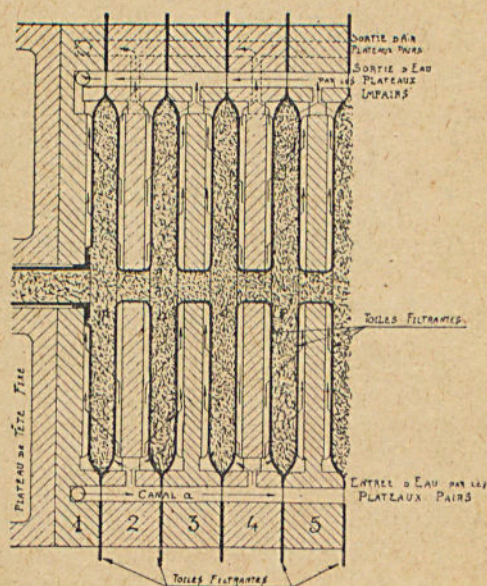


Fig. 68. — Coupe d'un filtre-pressé.

au lieu des trois qui étaient primitivement utilisés. Le procédé est actuellement en service dans une de nos plus grandes sucreries reconstituées.

L'appareil Asselberg peut être complété par un dispositif breveté pour la répartition du gaz dans le jus. Il est constitué par des goupilles coniques qui jouent dans les ouvertures par lesquelles le gaz sort. Les goupilles peuvent entrer et sortir dans les ouvertures à l'aide d'une tige commandée de l'extérieur par un volant (fig. 66).

Un grand nombre d'autres dispositifs ont d'ailleurs été proposés nous citerons seulement les noms de leurs auteurs : Mollet-Fontaine, Lucke, Gorz, Forstrenter, Barbet, Gibert, Sangerhausen.

Filtration des jus carbonatés.

En travail normal et lorsque la carbonatation est bien faite les jus carbonatés décantent aisément. Le phénomène se produit pour un pH bien déterminé voisin de 7 ; mais tout aussi bien ils se filtrent sans difficulté et on n'a plus recours, maintenant que l'outillage de filtration peut être très perfectionné, à la pratique autrefois suivie de la décantation. On emploie encore le plus souvent des filtre-presses qui permettent un lavage facile des écumes (fig. 67, 68 et 69).

Puisqu'on pratique deux carbonatations successives il faut recourir à l'emploi d'un double système de filtration d'importance

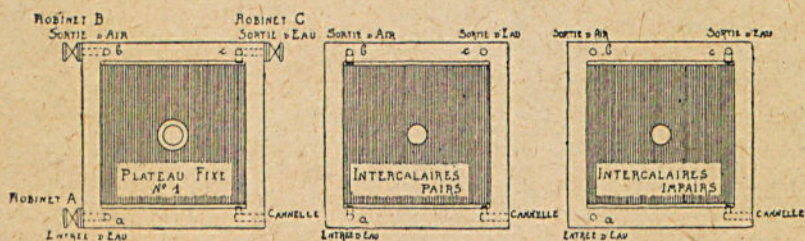


Fig. 69. — Schémas des plateaux de filtre-presses.

variable puisque bien entendu la première carbonatation donne un volume d'écumes beaucoup plus grand que la seconde.

On obtient un peu plus de jus de deuxième carbonatation que de jus de première, à cause de la faible dilution produite au cours du travail ; mais, pour une même surface filtrante, il s'écoule trois fois plus de jus de deuxième carbonatation que de jus de première.

En réalité la filtration après la carbonatation comprend deux parties :

1° La *séparation des écumes* qui se fait le plus habituellement au filtre-presses (fig. 67, 68 et 69) appareil qui comporte des capacités dans lesquelles se réunit un volumineux précipité constituant ces écumes, tandis que le jus à peu près limpide, s'écoule. Le filtre-presses doit être disposé de manière à permettre le lavage ou épuisement de ces écumes et c'est à la solution de cette partie essentielle du rôle de l'appareil que se sont attachés les efforts des constructeurs.

2° *L'obtention d'un jus limpide.* Cette opération se fait à l'aide de filtres de divers modèles et constitue la *filtration mécanique* ; cette expression a son origine dans l'histoire même de la fabrication du sucre. Autrefois l'emploi du noir animal comme agent de filtration était nécessaire ; or ce noir exerçait une action particulière constituant une véritable épuration des jus, considérée comme chimique, tandis que les filtres actuels se bornent à séparer les matières en suspension du liquide.

On emploie parfois pour remédier à des difficultés de filtration des substances inertes qu'on ajoute au jus (Silice fossile, etc.).

Malaxage des jus troubles.

Au sortir des chaudières de carbonatation le jus est envoyé dans un malaxeur à jus trouble d'où il alimente les filtre-presses. Les malaxeurs sont disposés de manière à éviter autant que possible le refroidissement des jus. Ce sont habituellement des chaudières cylindriques verticales dans lesquelles est un arbre vertical portant des bras horizontaux.

Alimentation des filtre-presses. Pompes à jus trouble.

Les fig. 70 (a, b, c) montrent les divers modes d'alimentation d'un filtre-presse.

Pour alimenter les filtres, on a renoncé habituellement à l'emploi des monte-jus, vases fermés dans lesquels le liquide à élever est soumis à la vapeur agissant à sa surface et le forçant à s'élever.

On emploie des pompes de divers systèmes qui toutes doivent remplir cette condition : que la pression qu'elles exercent sur les liquides qu'elles envoient ne dépassent jamais une certaine valeur, qu'on règle à volonté suivant le régime des filtre-presses mais qui est habituellement de 3 kilos au plus.

Pompes à vapeur à action directe. — Le plus ancien modèle de pompe à jus trouble est la pompe à vapeur verticale à volant système *Cail*. En voici la description :

Sur une colonne formant à la fois le bâti de la machine et le réservoir d'air pour l'aspiration et le refoulement, on a groupé les cylindres à vapeur et les pompes de façon à réduire l'encombrement. Les cylindres à vapeur qui sont inclinés sur le bâti attaquent par bielle et manivelle un arbre sur lequel sont fixés deux volants ;

sur chacun de ces volants s'articule la bielle agissant sur le cylindre d'une pompe.

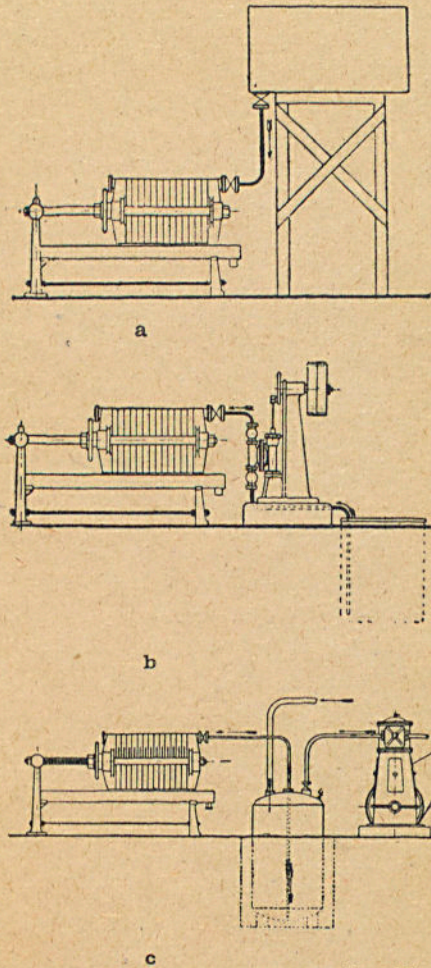


Fig. 70. — Divers modes d'installation d'un filtre-press :
 a, Par différence de niveau ; b, Par pompe ; c, Par monte-jus
 (air comprimé ou vapeur).

Le système est automatique : lorsque la vapeur est admise dans les cylindres, ils se mettent en route d'eux-mêmes lorsque le refoulement des pompes est libre. Le mouvement se ralentit à mesure que la pression au refoulement augmente, et il s'arrête complètement quand le filtre-press sur lequel il travaille est rempli.

Ce résultat est obtenu par l'emploi d'un régulateur de pression agissant sur la valve d'admission de vapeur d'une part, et d'autre part d'un régulateur à force centrifuge qui limite la vitesse de la machine.

On emploie aussi des pompes horizontales formées d'une machine motrice horizontale dont le bâti prolongé porte les pompes et la transmission du mouvement (*Cie Fives-Lille*). L'arbre manivelle de la machine porte un pignon qui engrène avec une grande roue calée sur l'arbre portant à ses extrémités les manivelles de commande des pompes. Chaque jeu des pompes est formé de deux corps opposés l'un à l'autre, avec piston plongeur commun, ce qui constitue une pompe à double effet. Chaque corps porte deux soupapes, une d'aspiration et une de refoulement. Les deux boîtes à soupapes d'aspiration sont reliées entre elles par une culotte qui porte un réservoir d'air de refoulement.

Dans ce système un des jeux de pompe sert à élever les jus de 1^{re} carbonatation l'autre sert à élever les jus de 2^e carbonatation aux filtre-presses vers lesquels ils doivent être respectivement dirigés.

Sur chaque tuyau de refoulement on place un compensateur. Cet appareil est formé d'un cylindre vertical dans lequel se trouve un piston surmonté d'un poids équilibrant la pression sous laquelle les jus doivent être envoyés aux filtres. Suivant le débit desdits filtres, le piston se lève ou s'abaisse; lorsqu'il tend à dépasser sa limite supérieure des orifices triangulaires pratiqués à sa partie supérieure débouchent dans une chambre existant dans la partie supérieure du cylindre, l'excès de jus passe à travers les orifices du piston, et, par la chambre du cylindre retournent à l'aspiration. Ces régulateurs fonctionnent d'ailleurs comme soupapes de sûreté.

Dans la pompe *Dehne* le bâti est vertical et renferme deux cylindres à vapeur actionnant un même arbre coudé en vilbrequin surmontant tout le système, lequel porte au milieu un seul volant de petit diamètre mais très lourd. Les pompes à piston plongeur sont au nombre de quatre et sont accouplées deux à deux et placées extérieurement au bâti. L'ensemble est complété par une bouteille d'air et un régulateur.

Ces diverses pompes sont à marche continue; les régulateurs, quand la pression est trop forte, livrent passage au jus qui retourne

à l'aspiration. La pompe tourne toujours mais refoule sur elle-même.

Dans certaines pompes horizontales le cylindre à vapeur est muni d'un piston dont la tige sort de chaque côté et actionne d'un côté le piston d'un corps de pompe et de l'autre côté un volant. En calculant convenablement les diamètres du cylindre à vapeur et de la pompe celle-ci s'arrête dès que la pression dans le filtre-presses atteint la valeur limite qu'on s'est fixée. Une telle pompe est discontinue.

Pour donner plus de régularité à l'alimentation on fait ces pompes jumelles, c'est-à-dire qu'il y a deux cylindres à vapeur et deux cylindres à jus ; mais pour simplifier la construction les deux pistons à vapeur agissent sur un seul volant par l'intermédiaire de deux manivelles calées à 80° de telle façon que quand l'une est au point mort l'autre est au contraire à l'attaque en plein.

Si, dans une telle machine la surface du piston à vapeur est 1, celle du piston de la pompe 2, avec 5 atmosphères de pression de la vapeur, la machine s'arrêtera lorsque la pression aux filtre-presses sera 2,5 atm.

Lorsque les presses sont vides et que la valve d'admission de la vapeur est ouverte, la pompe se met en route. Elle s'arrête d'elle-même lorsque les presses sont pleines et que la pression atteint la limite qu'on s'est fixée. Théoriquement du moins, il en serait ainsi. On emploie en outre pour assurer la régularité du fonctionnement un régulateur à pendule qui empêche la machine de s'emballer.

Pompes sans volant. — On emploie aussi des pompes à action directe sans volant (Pompe Worthington, Pompe Burton) dont on règle l'allure à l'aide d'un régulateur qui doit fonctionner d'une façon parfaite.

Le prototype de ces régulateurs est celui de Legat. Dans cet appareil la vapeur qui met les pompes en mouvement traverse une soupape équilibrée. Une tige centrale maintenue en haut et en bas par deux membranes métalliques semblables retient la soupape sur son siège si rien ne vient troubler leur équilibre. Deux ressorts appuient sur le haut de cette tige centrale. La membrane métallique inférieure est enfermée dans une chambre qui communique par un petit tuyau avec l'espace dans lequel s'exerce la

pression des pompes. Il suffit de régler la tension des ressorts à l'aide d'un volant pour que si la pression supportable est atteinte dans les filtres, celle-ci, transmise par la membrane ferme la soupape et la vapeur cessant de passer la machine s'arrête.

Pompes centrifuges. — On a fréquemment recours à l'emploi des pompes centrifuges parce que leur construction est robuste et leur prix d'achat peu élevé. Quoique leur rendement dynamique soit plus faible que celui des pompes à piston elles présentent cependant de réels avantages pour le cas qui nous occupe. Quand on regarde le manomètre qui se trouve sur la bouteille de refoulement d'une pompe automatique à écumes on constate des à coups, surtout à la fin de l'emplissage du filtre-pressé, qui présentent des inconvénients, aussi bien pour le bon entretien de la pompe que pour la conservation des toiles des filtres-pressés. Ces inconvénients ne se produisent pas quand on emploie des pompes rotatives, qui d'elles-mêmes cessent de débiter quand la pression limite pour laquelle elles sont calculées se trouve atteinte. Il n'y a pas d'à-coups sur les toiles et elles sont indé réglables : la pression qu'elles produisent est en effet fixée par les dimensions mêmes ou par le voltage, si, comme cela est le cas général, on a recours à une commande électrique. A mesure que le filtre s'emplit le débit devient plus faible puis nul quand la pression maxima est atteinte, quoique la pompe continue à tourner.

On a encore avec les pompes centrifuges un avantage particulier dans le cas de plus en plus généralisé d'une commande électrique : on commande directement la pompe centrifuge, par la dynamo sans recourir aux trains d'engrenages qui sont nécessaires avec des pompes à piston.

On construit des pompes centrifuges à vitesse réduite qui conviennent spécialement pour les jus troubles. Leur dépense d'entretien est faible.

Malgré les avantages à l'actif des pompes rotatives beaucoup de praticiens leur préfèrent cependant encore les pompes à piston.

Filtration des Ecumes.

Les lois générales de la filtration sont celles de l'écoulement d'un liquide à travers des tubes capillaires. Les interstices laissés

entre les particules solides sont en effet comparables à des tubes capillaires.

Les lois en question ont été définies par Poiseuille et sont résumées par l'équation :

$$V = \frac{dQ}{dt} = K \frac{N \pi r^4 P}{8 \nu l}$$

Dans cette formule on a :

V la vitesse d'écoulement du liquide.	r rayon des tubes capillaires.
Q débit en un temps t.	l longueur des tubes capillaires.
ν viscosité.	P différence de pression entre les
N nombre de tubes capillaires.	extrémités des capillaires.

En pratique industrielle des formules plus simples peuvent lui être substituées, qui se prêtent à la discussion.

Béringer adopte la formule suivante (Sucrerie belge, 15 mars 1924)

$$V = \frac{dQ}{dt} = K' S^2 \frac{P^n}{Q^m} = K' \frac{P^n}{Q^m}$$

dans laquelle K' est une constante

S surface filtrante

$$K' = KS^2$$

n et m sont des exposants constants pour les conditions déterminées et toujours positifs.

Si nous examinons cette formule nous observons que deux modes de filtration peuvent être pratiqués :

1° en maintenant la pression constante.

Si on pose $K_1 = \text{constante}$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{K_1 t}{Q^m} \quad Q^m dQ = K_1 dt$$

En intégrant, en observant que pour $Q = 0 \quad t = 0$ on a :

$$\frac{Q^m + 1}{m + 1} = K_1 t$$

$$Q = K_2 \sqrt[m+1]{t}$$

2° En maintenant le débit constant.

$$\frac{dQ}{dt} = \text{constante} = K$$

on a :

$$Q = K_3 t.$$

$$Q^m = K_n P^n$$

équation qui peut se mettre sous la forme

$$m \log Q = n \log P + \log K_n.$$

Nous avons dit que m est supérieur à 0, donc m + 1 est supérieur à 1.

Il s'en peut déduire que l'opération à pression constante présente au début de la filtration quand t est très petit un débit supérieur à celui qu'il est dans l'opération à débit constant; cette

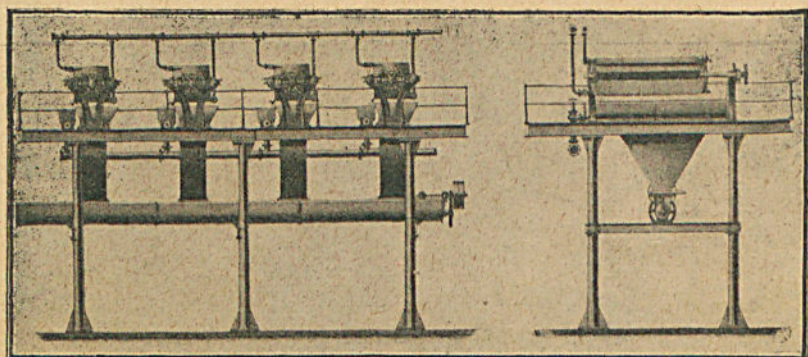


Fig. 71. — Vue d'ensemble de l'installation des filtres-presses avec évacuation des écumes (Cliché Gillain).

dernière par contre présente un rendement supérieur lorsque la durée de filtration est telle que

$$K_2^{m+1} \sqrt{t} = K_3 t$$

ou

$$\frac{K_2}{K_3} = t \frac{m}{m+1}$$

Ces conditions en pratique sont réalisées longtemps avant la fin de la filtration.

Dans les expériences faites sur des jus carbonatés additionnés de kieselguhr, Baker a trouvé par expérience $m = 1$ et $n = 2$.

En pratique donc il convient d'opérer autant que possible à débit constant. La pression est faible au début, puis croît avec la résistance de la paroi filtrante, laquelle est fonction à la fois de l'épaisseur du tourteau et de sa compacité.

L'influence des divers facteurs sur la formation du tourteau est la suivante :

Les particules solides se collent à la paroi, sollicitées par une force proportionnelle à leur force vive c'est-à-dire à leur masse m et au carré de leur vitesse, c'est-à-dire à la vitesse de passage du jus.

Donc au début de la filtration il faut une faible vitesse, donc une faible pression sous peine de provoquer l'incrustation des premières particules solides dans les mailles de la toile produisant le colmatage et rendant le nettoyage des toiles impossible.

Il ne faut pas perdre de vue que les tissus filtrants jouent seulement le rôle de supports dans une filtration normale; la ré-

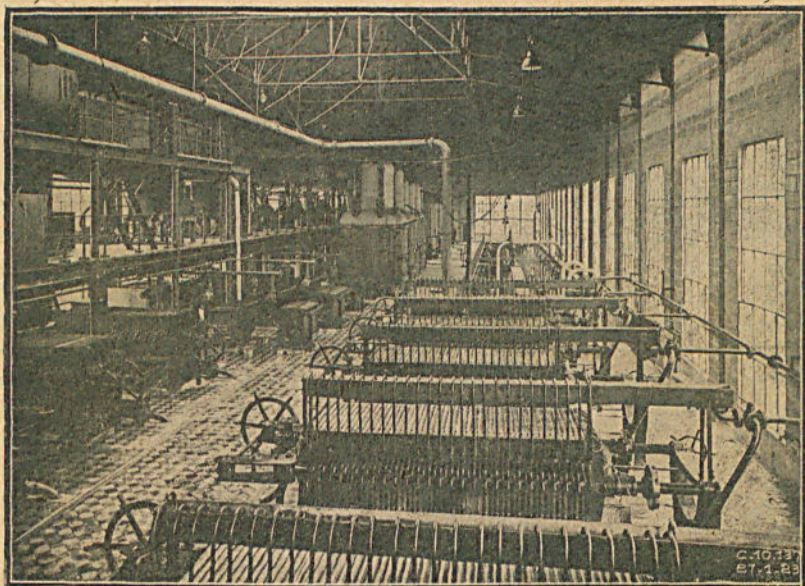


Fig. 72. — Vue d'ensemble d'un atelier de filtration.

tention des particules solides se fait sur les premières d'entre elles qui s'y trouvent déposées.

Nous donnons ci-dessous d'intéressantes observations de l'auteur précité (*Sucrierie belge*, 1924 p. 51) ou plus exactement l'énoncé sous forme très nette d'observations anciennes.

Elles sont faites d'ailleurs à propos des filtres Sewetland qui ont donné aux débuts certaines difficultés avec des jus trop fluides :

« Un liquide à haute concentration en matières solides forme, toutes choses égales d'ailleurs, un tourteau plus poreux qu'un liquide faiblement chargé.

Celui-ci pour une pression donnée, traverse la paroi filtrante avec une vitesse qui conserve plus longtemps une valeur plus élevée que si le précipité est

plus concentré. Dans ce dernier cas, en effet, le tourteau croît rapidement en épaisseur, sa résistance au liquide augmente rapidement et le débit, donc aussi la vitesse de filtration diminuent ; et le dépôt conserve sa porosité.

Cependant que dans le premier cas, les particules déposées subissent plus longtemps les chocs dûs à l'arrêt subit des particules charriées à vitesse élevée par le liquide, se tassent et que le tourteau devient plus compact.

Il en résulte que, dans le cas de liquides à très faibles concentrations de matières solides, il sera souvent avantageux de décanter d'abord, pour ne filtrer que le liquide épaissi.

Au point de vue d'une filtration et d'un lavage correct, l'intérêt d'un tourteau poreux est évident ».

Les filtre-presses.

Les filtre-presses sont des appareils qui ont joué un rôle des plus importants en sucrerie : on peut dire que c'est grâce à eux qu'on a pu recourir à l'emploi de la double carbonatation en sucrerie de betteraves. Ils sont loin d'être des appareils parfaits cependant, en raison surtout du travail pénible qu'ils imposent aux ouvriers.

Les filtre-presses qui servent à la première carbonatation doivent toujours comporter un dispositif permettant l'épuisement des écumes. Lorsque les écumes de deuxième carbonatation au lieu d'être épuisées sont renvoyées avec les écumes de première carbonatation, on peut employer pour les dites écumes de deuxième carbonatation des filtre-presses sans lavage.

C'est à l'anglais Howard qu'on doit l'invention du filtre-presses vers 1853. Avant lui on avait recours à des sacs de toile qu'on laissait égoutter après les avoir emplis d'écumes et qu'on plaçait ensuite sous une presse à vis.

Depuis les premiers filtre-presses construits, des modèles très nombreux ont été réalisés (fig. 70, 72, 73). Mais leur disposition générale et aussi leur fonctionnement et même le rendement n'ont varié que dans des limites assez peu étendues, en sorte que nous pouvons ne pas nous attarder à la description d'appareils qui semblent aujourd'hui devoir faire place à d'autres dispositifs qui présentent l'avantage d'une importante économie de toiles et d'une main d'œuvre moins pénible.

Observations générales sur le fonctionnement des filtre-presses.

— La marche régulière de la filtration dépend non seulement du bon fonctionnement du filtre lui-même mais encore de la bonne marche des opérations antérieures, carbonatation et même diffu-

sion. Toute anomalie dans celles-ci se traduit par un ralentissement de la filtration.

L'inégalité du débit du filtre indique un mauvais fonctionnement du filtre lui-même.

La pression avec laquelle on envoie les jus troubles dans les filtres doit être comprise entre 3 et 3,5 kilos. La formation régu-

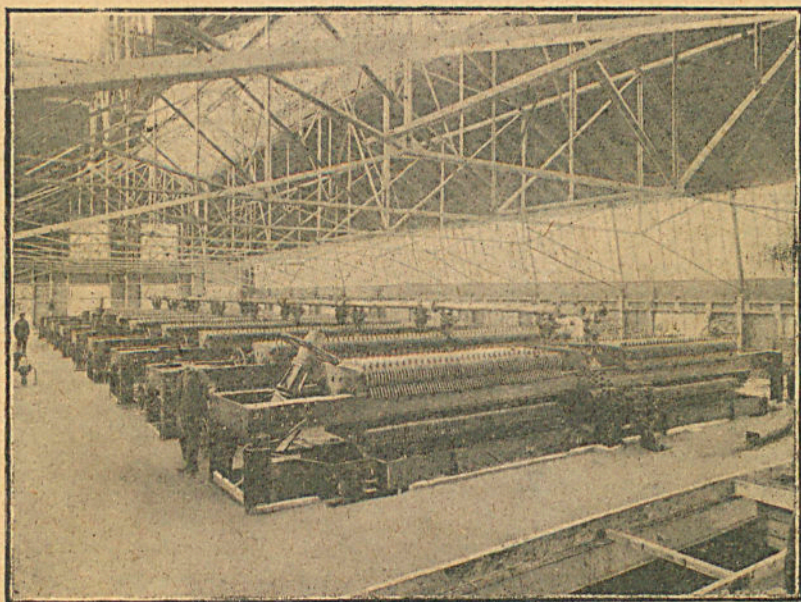


Fig. 73. — Batterie de neuf filtres-presses monstres à la Sucrierie d'Eppeville.

lière des tourteaux — indispensable pour leur bon lavage — ne peut être réalisée que si on fait arriver le jus au début de l'emplissage du filtre avec peu de pression ce qui s'obtient par l'ouverture ménagée du robinet d'amenée. Le lavage doit se faire avec une pression plus faible de moitié que l'emplissage du filtre. La durée est généralement de 20 minutes. Le lavage peut se faire à froid ou à chaud. L'emploi d'eau froide a l'avantage, en refroidissant les tourteaux, de rendre moins pénible pour les ouvriers le travail de démontage des filtres.

On ne pousse habituellement pas l'épuisement des tourteaux au-delà d'une teneur de 0,5 % de sucre : au delà on a des eaux trop diluées et on dissout des impuretés qui diminuent la pureté du jus.

On emploie environ 100 à 150 kilos d'eau pour 100 kilos de tourteaux de carbonatation soit, en comptant 120 kilos de tourteaux par tonne de betteraves, une quantité d'eau qui est de l'ordre de 100 l. par tonne de betteraves travaillées.

Bien entendu les lavages méthodiques dont nous avons parlé plus haut permettent de réduire cette quantité.

Emploi des eaux de lavage.

Dans les fabriques à défécation par le lait de chaux on a très largement l'emploi de ces eaux et on peut pousser l'épuisement des écumes. Quand on emploie la défécation sèche, par contre, on doit veiller strictement à ne pas dépasser un certain volume d'eau de lavage, puisqu'il faut dépenser du combustible pour les concentrer. Bien entendu au delà d'une certaine limite, d'autant plus faible que le prix du combustible est plus élevé ou que l'installation générale de l'usine en permet moins aisément son utilisation économique, on n'a pas intérêt à recueillir le sucre, en dehors de la considération à laquelle nous avons fait allusion plus haut, c'est-à-dire que la pureté des petits jus ainsi recueillis baisse rapidement.

Contrôle de l'épuisement des écumes. — En principe très simple puisqu'il suffit d'un simple dosage de sucre, il se complique en réalité de la difficulté de faire un échantillonnage correct. Claassen (Centraleblatt, 25 mars 1922) a montré les erreurs importantes qu'on peut commettre suivant la méthode de prélèvement employé. Vondrak et Kunz ont montré qu'une partie du sucre des écumes échappe à l'analyse par simple épuisement. Il faut selon ces auteurs dissoudre entièrement l'écume dans l'acide acétique.

Lavage des toiles. — Le lavage des toiles s'effectue généralement à l'aide de machines qui sont constituées par un tambour dans lequel on les introduit ; ce tambour comporte plusieurs séparations. Les toiles par suite de la rotation du tambour sont animées d'un mouvement de va et vient qui provoque le détachement des boues fixées sur la toile.

L'usure des toiles de filtres-presses est un chapitre important des dépenses d'exploitation d'une sucrerie de betteraves ; c'est un des avantages économiques les plus marqués du procédé de Vecchis de réduire dans une très grande proportion la dépense de toiles. La mauvaise carbonatation est une cause notable d'usure, car le jus trop alcalin altère le tissu. C'est un inconvénient qui s'ajoute au ralentissement du travail lorsqu'on a mal carbonaté.

En marche normale on doit changer les toiles tous les quinze jours environ. On emploie des tissus plus grossiers, pouvant être même en jute, pour la première carbonatation et des toiles de coton plus fines pour la 2^e carbonatation.

Dimensions et Rendement des filtre-presses.

Les dimensions données aux cadres des filtre-presses sont généralement de 1 m × 1 m de 0 m, 80 × 0, m 80 et de 0,65 × 0,65. Les deux premières sont habituellement celles données aux filtre-presses de 1^{re} carbonatation et les dernières celles des filtres de 2^e carbonatation.

Pour fixer le rendement d'une installation de filtre-pressé il faut tenir compte non seulement de la surface filtrante totale mais encore du nombre des filtres : plus ceux-ci sont nombreux pour une installation donnée, moins la perte de temps résultant de l'immobilisation des appareils pour lavage et vidange est importante.

Selon la nature des écumes et les diverses conditions d'installa-

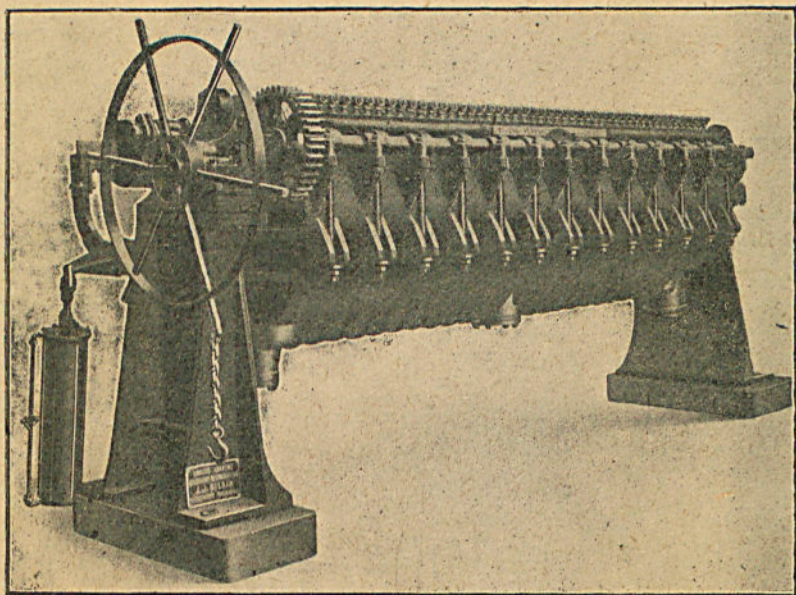


Fig. 74. — Filtre Sweetland (Cliché Gillain).

tion et de travail, c'est dans les limites de 1 hectolitre 25 à 1 hectolitre 50 par mètre carré de surface filtrante et par heure qu'on peut fixer la capacité de production des filtre-pressés pour les jus de 1^{re} carbonatation.

En deuxième carbonatation on peut compter sur un rendement triple de celui qui correspond aux chiffres ci-dessus indiqués.

Un filtre à plateaux de 1 m. de côté représente une surface filtrante de 1 m, 80 m² environ ; la surface utile de chaque toile est en effet de 0,90 m² et il faut compter deux fois cette surface par élément.

Pour 100 tonnes de betteraves, en adoptant le chiffre ci-dessus indiqué il faudra donc 60 m² de surface soit 33 plateaux de 1 m. de côté.

Modèles divers de filtres.

Les filtre-presses présentent les avantages incontestables d'être des appareils robustes, de construction relativement peu coûteuse, d'une marche très régulière. Mais ils ont le gros inconvénient de nécessiter une main-d'œuvre importante et de recrutement difficile car leur service est pénible. Cependant c'est à leur installation qu'ont eu recours des fabriques récemment reconstruites (fig. 73).

Et pourtant d'autres solutions de l'important problème de la filtration des jus troubles peuvent être envisagées ; par la force des choses en raison des difficultés de main-d'œuvre il faudra bien que le filtre-presse malgré ses avantages soit remplacé par d'autres appareils.

Nous citerons une invention ancienne, de 1884, de *Goetjer*, à Bautzen, relative à un filtre-presse continu.

Filtre Kelly et Sweelland. — Cet appareil a fait l'objet d'importantes applications en Amérique où la diminution de main-d'œuvre qu'il permet de réaliser est si appréciée.

Le filtre à pression Kelly et Sweetland est formé d'un cylindre en tôle de 3 m. de long et de 1 m. de diamètre dont l'axe est légèrement incliné sur l'horizon (fig. 74 et 75).

Dans ce cylindre sont disposés des sacs filtrants représentant une surface filtrante de 39 m². Ils sont fixés à une armature métallique faisant corps avec la porte du filtre et sur laquelle est adapté le tuyau de sortie des jus filtrés. Le tout forme un ensemble qui roule sur un chariot à galets.

Le jus à filtrer arrive dans le cylindre dans lequel sont plongés les sacs maintenus tendus par une âme métallique ; la filtration se fait de l'extérieur à l'intérieur. Le liquide est constamment maintenu en mouvement par une pompe centrifuge.

Quand les sacs ont une quantité de dépôt suffisante on procède au lavage avec de l'eau qui arrive par le même tuyau que le jus.

Quand le lavage est terminé on laisse écouler l'eau, on fait sortir automatiquement les sacs dont on détache l'écume par un jet d'eau.

Le lavage s'effectue avec une quantité d'eau inférieure à celle que demandent les filtre-presses % de dépôt ; celui-ci contient moins de 1 % de sucre après lavage.

Le rendement d'un tel appareil correspond au travail de 150 à 200 tonnes de betteraves par 24 heures.

Les filtres Sweetland encourent le reproche de laisser à désirer

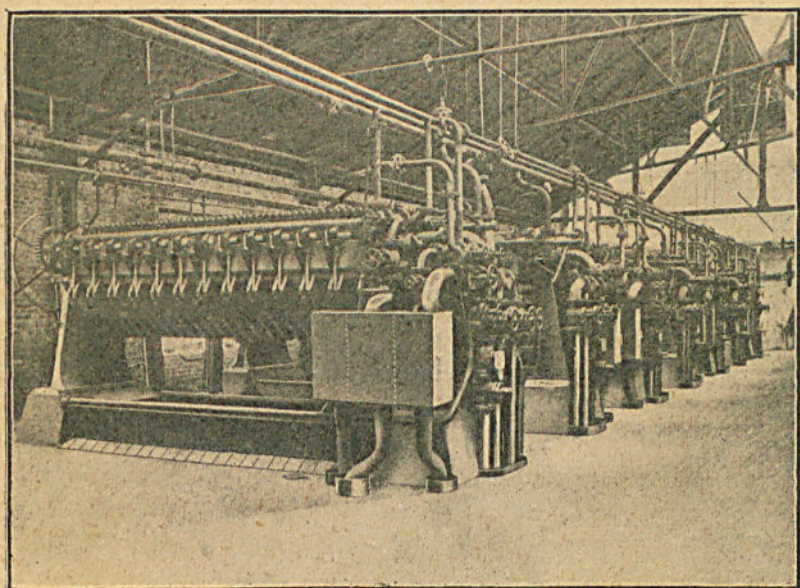


Fig. 75. — Vue d'une installation de filtres Sweetland.

au point de vue du lavage et selon A. Marien (*Sucrierie belge*, juin 1924) ils seraient passés de mode aux États-Unis tandis qu'ils jouissent en Belgique d'une grande vogue.

L'opération complète de filtration avec un filtre Sweetland se décompose ainsi au point de vue du temps d'après A. Beringer (*Sucrierie belge*, mars 1924, p. 64) pour des écumes de 1^{re} carbonatation.

Filtration	{	Remplissage en jus.....	2m30s	}	45m-50m
		proprement dite	40-45m		
		Vidange	2m		

Lavage	{	Remplissage en eau	2m	}	8m-10m
		Lavage proprement dit	4-6m		
		Vidange	2m		
Décharge	{	Ouverture.....	30s	}	6m
		Décharge et nettoyage	5m		
		Fermeture	30s		
		Total :	60 à 65 min.		

On peut compter sur un débit de 4,6 litres par minute et par mètre carré de surface filtrante tandis que le débit correspondant pour le filtre-pressé ordinaire est de 2,8 litres; mais comme d'autre part les manœuvres sont plus rapides avec le filtre Sweetland on peut considérer qu'une même surface de ce dernier filtre fait le travail d'une surface de 1,8 à 1,9 fois plus grande qu'avec le filtre ordinaire.

Le filtre Vallez ou *Vallez'rotary filter* est appliqué dans quelques sucreries aux États-Unis notamment à Bac-Coty (Michigan) et selon ses partisans il se recommande par une grande simplicité de manœuvre, celle-ci étant réduite au fonctionnement d'une série de robinets, une économie de toiles filtrantes et un désucrage facile des tourteaux qui se traduit par une réduction du volume des eaux de lavage.

Les éléments filtrants du filtre en question consistent en une série de plateaux circulaires avec cadres (fig. 76 et 77) qui correspondent aux plateaux et aux cadres des filtre-pressés ordinaires. Ils communiquent entre eux et sont maintenus en un bloc par quatre barres parallèles. Ils tournent avec l'eau qui les supporte à la vitesse de 1 tour 1/2 par minute. L'ensemble est placé dans une enveloppe qui est divisée horizontalement en deux parties à peu près égales. La partie inférieure de l'enveloppe comporte un dispositif de vidange. A la partie supérieure est un tuyau qui s'étend sur toute la longueur de l'enveloppe et est muni d'éjecteurs qui lancent sous pression l'eau qu'on fait arriver dans le tuyau pour le lavage. Les plateaux reçoivent des tissus filtrants. On a aussi employé des garnitures en pâte à papier.

L'enveloppe reçoit, en dehors du tuyau à eau dont nous avons parlé, un tube pour l'arrivée du liquide à filtrer, un tuyau pour l'air comprimé. Quand les tourteaux sont formés après le passage du liquide à filtrer sur les pulpes de papier, on fait arriver l'eau sous pression qui en effectue la désagrégation et les envoie dans un laveur

spécial analogue à celui des fabriques de papier. La pulpe lavée est employée à nouveau.

Filtre Oliver. — Les appareils dont nous venons de parler sont des filtres discontinus travaillant sous pression.

On leur a substitué des filtres continus travaillant sous le vide dont le filtre Oliver est le type. Il est formé par un tambour tour-

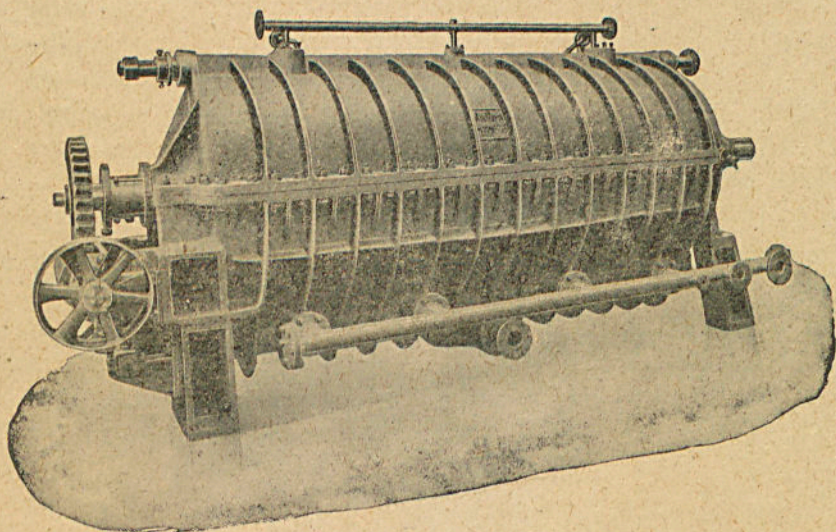


Fig. 76. — Filtre Vallez (Cliché Pingris).

nant autour d'un axe horizontal. La partie inférieure du tambour plonge dans un réservoir qui contient la matière à filtrer. La surface du tambour est divisée en compartiments parallèles à l'axe de rotation. Ces compartiments sont recouverts d'un tamis qui supporte la toile de filtration, maintenue en place et protégée par un fil métallique qui s'enroule sur elle. Les compartiments qui sont indépendants sont reliés par des tuyaux à une valve automatique qui admet successivement un vide total à l'intérieur du compartiment pendant la filtration proprement dite, puis un vide partiel pendant le lavage, enfin une pression d'air utilisée au détachement du tourteau. Quand celui-ci est détaché une tôle immobile maintenue contre le filtre parallèlement à l'axe l'enlève et en permet l'évacuation.

Le lavage du tourteau s'effectue par le moyen de pulvérisateurs.

Les filtres à vide Oliver ont été d'abord employés à la filtration des saccharates, à froid. On a étendu leur emploi à d'autres produits, notamment pour filtration des saccharates à chaud puis pour jus de carbonatation ; on y a d'abord rencontré des difficultés. Le filtre Oliver exige l'emploi de liquide épais. On doit donc extraire la majeure partie du liquide du produit à filtrer avant de le soumettre à l'action du filtre à vide.

Lorsqu'on employait le filtre Oliver pour la filtration des saccharates on résolvait bien le problème par l'emploi d'un décanter continu (Door thickener) mais ces appareils à marche lente ne convenaient pas pour les jus de carbonatation.

On a résolu la difficulté dans certaines usines américaines en se servant des filtres Sweetland dont nous avons parlé plus haut comme épaisseurs. Ceux-ci étaient utilisés sans que le tourteau y subisse de lavage. Le tourteau non lavé est détaché du filtre Sweetland délayé avec peu d'eau et passé au filtre Oliver. Mais l'inconvénient du procédé est manifeste puisqu'on alimente un second filtre continu avec un premier appareil discontinu.

On a substitué à cet appareil un autre épaisseur (dit Oliver thickener) qui s'adjoint à l'« Oliver vacuum filter ». Il se compose d'un faisceau de tubes verticaux perforés à leur surface et garnis de toiles filtrantes. Ce faisceau plonge dans le liquide à filtrer contenu dans un récipient. Une pompe à vide aspire le liquide à travers les toiles. Un dispositif automatique arrête la pompe à intervalles réguliers et insuffle en sens inverse de l'air comprimé dans les tubes. De cette manière le résidu fixé sur la toile s'en détache et tombe au fond du récipient. Privée d'une partie de son liquide la masse qui reste dans le récipient s'épaissit. Quand la masse a l'épaisseur convenable pour être traitée au « vacuum » une hélice la reprend et l'y conduit.

A la sucrerie Oxnard on emploie pour le travail de 1.000 tonnes de betteraves par jour deux hommes pour le service des filtres Oliver combinés avec l'épaisseur, au lieu de huit qui étaient nécessaires avec les filtre-presses; on estime que la dépense de toiles est dix fois moindre qu'avec les filtre-presses.

Si on note que, en France, les tissus sont parmi les marchan-

disés qui ont le plus augmenté de prix, on voit l'intérêt qui s'attache à l'emploi d'appareils économisant les toiles.

D'autres appareils épaisseurs fonctionnent sous vide (appareils Genter fonctionnant à l'usine du Delta).

Nous citerons encore le filtre de la Société Alsacienne des Constructions mécaniques, le filtre Zénith, le filtre Hertebenin etc.,

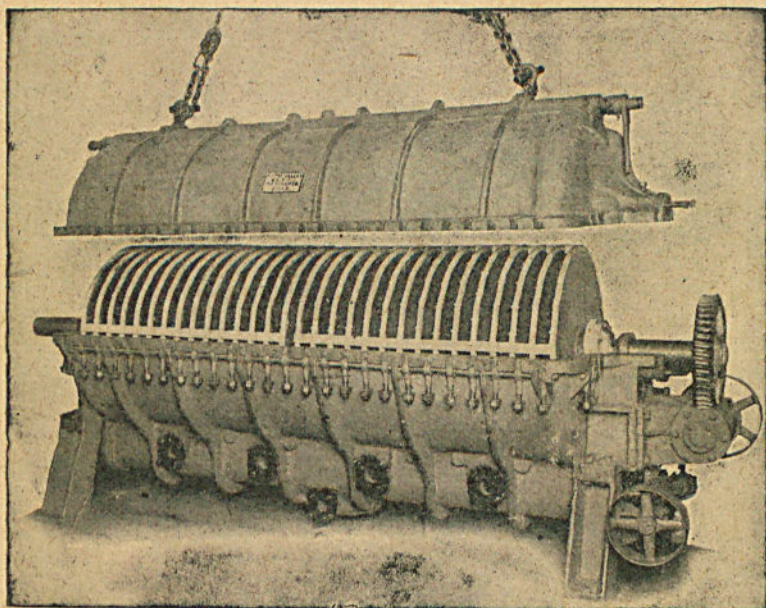


Fig. 77. — Filtre Vallez le couvercle étant soulevé (Pingris).

qui présentent chacun diverses particularités intéressantes dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer.

Pour terminer nous citerons les essais de filtration continue faits avec succès à la sucrerie d'Abscons avec les appareils de la Société Heibig (Filtres Philippe), pour les jus de 1^{re} carbonatation qui ont donné des résultats satisfaisants. La filtration s'effectue en deux parties 1^o dans les filtres dits épaisseurs, basés sur le principe du lavage à contre courant. Le liquide contenu dans un bac est aspiré par intermittence à travers les éléments filtrants — qui sont des tubes en tôle perforée recouverts de toile — sur

lesquels les matières solides se déposent ; puis, par intermittence on envoie un contre-courant d'air comprimé qui détache et fait tomber à la partie inférieure de la cuve la matière solide. Une hélice agite la masse et la rend homogène. Des électro-aimants provoquent les alternances de fonctionnement du vide (12 minutes) et de l'air comprimé (4 secondes). Les appareils servant à cette première partie de l'opération ont l'aspect extérieur des filtres Philippe à sirop.

2° A la sortie des épaisseurs la boue est envoyée dans l'auge extérieure d'un filtre rotatif formé d'un tambour de 1 m, 10 de long et 1 m, 25 de diamètre. Ce tambour supporté par un arbre horizontal est garni à sa périphérie d'une toile métallique recouverte d'un tissu filtrant. La périphérie du tambour est divisée en 12 secteurs formant autant de capacités distinctes dans lesquelles un distributeur établit divers régimes : à chaque instant un des compartiments est en pression afin de détacher les écumes qui s'y sont fixées. Les autres sont en aspiration, cinq pour la formation du gâteau et six pour son égouttage et son lavage.

On estime que pour 1.000 tonnes de betteraves travaillées par 24 heures il faudrait 4 épaisseurs de 4 m² et même nombre de filtres rotatifs de 12 mètres carrés. Le système est applicable aux jus de 2^e carbonatation comme aux jus de 1^{re}.

Si on observe que les filtre-presses ordinaires ont donné lieu à de très longs travaux avant la mise au point définitive de leur emploi on conçoit aisément que les filtres modernes plus compliqués nécessitent de même un certain travail avant que ceux-ci donnent aux mains des fabricants qui les emploient toutes leurs possibilités de rendement.

Travail des jus de 1^{re} carbonatation.

Les jus troubles doivent arriver aussi chauds que possible aux filtre-presses aussi bien pour la seconde que pour la première carbonatation. Il est d'ailleurs nécessaire de faire agir la chaux à température voisine de 100°. On dispose donc des réchauffeurs dans lesquels passe le jus sortant des filtre-presses de première carbonatation avant d'arriver aux chaudières de chaulage de seconde carbonatation.

Ces réchauffeurs reçoivent des vapeurs habituellement prélevées sur le premier corps de l'appareil évaporatoire.

On doit contrôler la marche des filtres-presses par l'analyse des jus qui s'en écoulent. L'alcalinité de ces jus est un peu supérieure à celle que l'on trouve à la fin de la saturation dans les chaudières à carbonater par suite d'une dissolution de chaux en excès ou de sucrate existant dans les écumes.

La deuxième carbonatation est habituellement précédée d'un

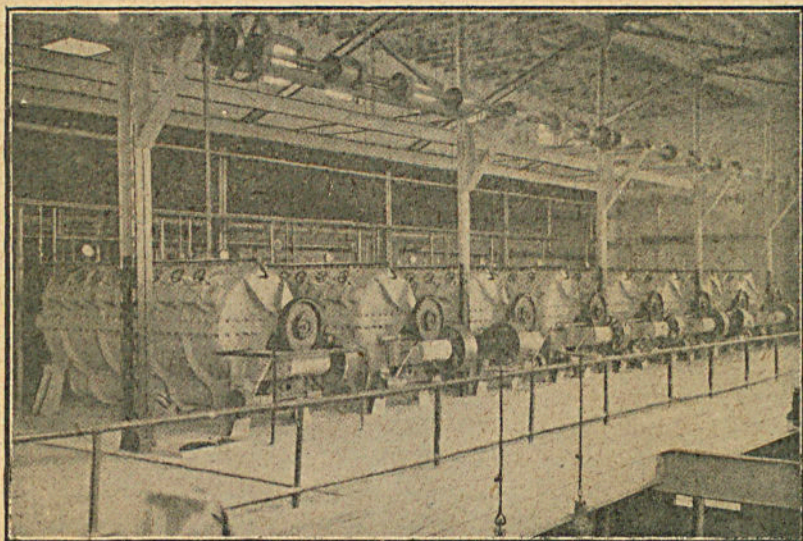


Fig. 78. — Installation de filtres Valze.

chaulage par une quantité de lait de chaux à 22 Be, 1 litre à 1 litre et demi par hectolitre ; cette addition de chaux n'a pas toujours lieu.

On maintient après la deuxième carbonatation une très légère alcalinité à la phtaléine du phénol. On peut aujourd'hui serrer les choses de plus près par l'emploi des indicateurs du p H. Celui-ci doit être d'environ 6,8.

Nous avons indiqué précédemment que la carbonatation et la filtration des jus de deuxième carbonatation s'effectuaient avec

un matériel identique à celui qui sert aux opérations correspondantes de la première carbonatation ; sauf les dimensions en ce qui concerne les filtres, ainsi que nous l'avons dit.

Une troisième carbonatation est pratiquée parfois dans des conditions identiques. Cette troisième carbonatation est souvent remplacée par une sulfitation ou un autre traitement dont nous nous occuperons plus loin.

Nous suivrons la marche du travail en nous occupant du traitement des résidus de la filtration, c'est-à-dire des écumes de carbonatation.

Les Écumes de sucrerie.

Les écumes sont généralement reçues au sortir des filtres-presses dans des wagonnets et transportés hors du bâtiment. Les filtre-presses se trouvant généralement installés à un étage à plusieurs mètres au-dessus du sol les wagons, à la sortie du bâtiment, circulent sur une estacade et sont mis en tas à une certaine distance.

Lorsqu'on n'utilise pas les écumes on les envoie au loin dans des bassins de décantation après les avoir délayées de manière à constituer une bouillie assez fluide pour être pompée. On emploie soit des bassins spéciaux soit les bassins mêmes qui reçoivent les eaux de lavage des betteraves.

Tout ce que nous avons dit concernant le lavage et l'évacuation des écumes ne s'applique qu'aux écumes de 1^{re} carbonatation. Les écumes de deuxième carbonatation, lorsqu'on vide les filtres-presses qui les contiennent, tombent dans un délayeur et retournent après délayage convenable, dans le mélangeur de jus de 1^{re} carbonatation.

La valeur des écumes, au point de vue de leur utilisation comme engrais est plus ou moins grande selon la quantité de chaux qu'on emploie : ce sont surtout les matières organiques et l'acide phosphorique qui ont une valeur élevée. Donc, moins on emploie de chaux pour les écumes plus les écumes ont de valeur fertilisante.

A Groningue (Hollande) une commission représentant un grand nombre de sociétés agricoles a publié un rapport qui fixe assez bien la valeur des écumes de sucrerie d'après les bases suivantes : 100 de carbonate de chaux des écumes représentent 56 de chaux, 1,1 d'azote, 4,1 d'acide phosphorique et 0,8 de potasse. Le carbonate de chaux y est estimé au prix de 18 florins la tonne, les autres éléments sont comptés pour moitié de leur valeur marchande dans les engrais habituels.

Quelle que soit la valeur des écumes de sucrerie on ne trouve cependant pas toujours leur utilisation agricole. Elles représentent plus de 10 % du poids de la betterave travaillée et sont, en somme fort encombrantes.

L'augmentation du prix de la main-d'œuvre n'est pas pour faciliter l'utilisation de cet engrais, au total médiocre dans le cas

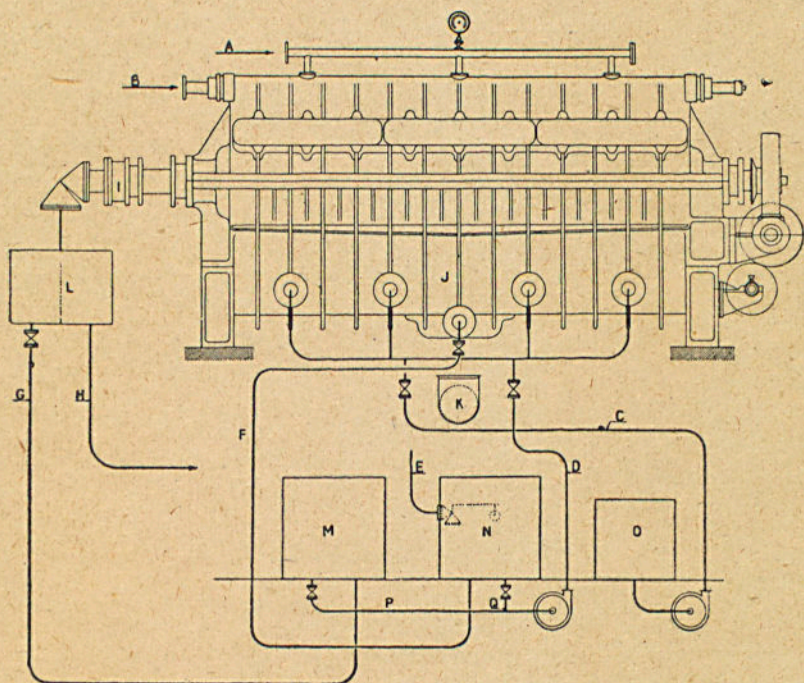


Fig. 79. — Schéma de fonctionnement du filtre Vallez.

- A, Entrée d'air comprimé ; B, Entrée d'eau de lavage des disques ; C, Entrée des jus troubles ; D, Refoulement des petits jus et d'eau chaude ; E, Arrivée d'eau chaude complémentaire ; F, Vidange du filtre ; G, Sortie des petits jus ; H, Sortie des jus clairs ; I, Boîte à jus ; J, Filtre ; K, Vis d'évacuation des écumes ; L, Bac de réception des jus ; M, Bac à petits jus ; N, Bac à eau chaude ; O, Bac à jus troubles ; P, Aspiration des petits jus ; Q, Aspiration d'eau chaude.

où le chaulage des terres ne s'impose pas en raison de la nature du sol de la région.

Il ne semble pas que les essais faits en vue de l'installation des écumes pour production nouvelle de chaux et d'acide carbonique

en les rentrant au four à chaux après dessiccation puissent entrer dans la pratique courante.

C'est qu'en effet, outre la difficulté que présente l'emploi des écumes qui doivent d'abord être mises sous forme de briquettes — ce qui nécessite une dépense importante à la fois de main-d'œuvre et surtout de combustible — l'accumulation des impuretés rend bientôt impropre au travail la chaux produite à l'aide d'écumes récupérées.

La transformation des écumes en ciment a fait l'objet de divers brevets et aussi d'applications en Belgique. Il faut, pour fabriquer un ciment ayant une réelle valeur, disposer d'argile ou de schiste argileux d'une composition convenable. La transformation de l'industrie du ciment dans le sens d'une fabrication à l'aide de très vastes installations ne rend pas très opportune l'annexion de la fabrication du ciment à la sucrerie.

Cette question a cependant beaucoup excité l'imagination des inventeurs.

Il se trouve un procédé breveté R. Tornay Schlossberger de Buda-Pesth selon lequel la transformation ultérieure des écumes de sucrerie en ciment serait facilitée par l'addition de silicates au jus brut. Ce procédé selon son auteur aurait l'avantage de donner des écumes dans lesquelles les silicates seraient intimement mélangées au carbonate de chaux, et ainsi la fabrication du ciment en serait facilitée.

Plus près de la pratique possible semble la dessiccation des écumes par l'appareil Huillard en vue d'obtenir une substance pulvérulente évitant des frais de transport.

La question des écumes produites par le procédé de Vecchis est toute différente de la question des écumes ordinaires. La quantité en est très réduite et elles constituent un engrais intéressant puisqu'elles sont formées de phosphates de chaux très divisés. Leur teneur en azote est d'ailleurs insignifiante.

Filtration mécanique des jus.

A la filtration sur noir animal dont on considérait l'effet comme d'ordre chimique, on a substitué des filtres dits *mécaniques* qui sont le plus souvent des filtres sur tissus se présentant aujourd'hui sous des formes peu encombrantes et fonctionnant très bien.

C'est dans les raffineries qu'on employa d'abord les filtres en tissus, dans les sucreries ensuite.

Les filtres mécaniques le plus communément employés sont formés par une caisse métallique qui contient le jus à filtrer. Dans cette caisse plongent les éléments filtrants. Chacun d'eux est constitué par un sac de toile très plat formant une poche rectangulaire dont les parois sont maintenues écartées, par un dispositif particulier à chaque système. Le liquide qui est sous pression dans la caisse (cette pression étant parfois extrêmement faible, ce qui d'ailleurs

est la condition la plus favorable à l'obtention d'une bonne filtration), passe donc de l'extérieur à l'intérieur de la poche filtrante, l'emplit et s'écoule par la partie supérieure par une tubulure appropriée.

Le filtre *Danek* est formé d'éléments filtrants qui sont des sacs tendus sur une tôle ondulée encastrée dans un tube ; celui-ci,

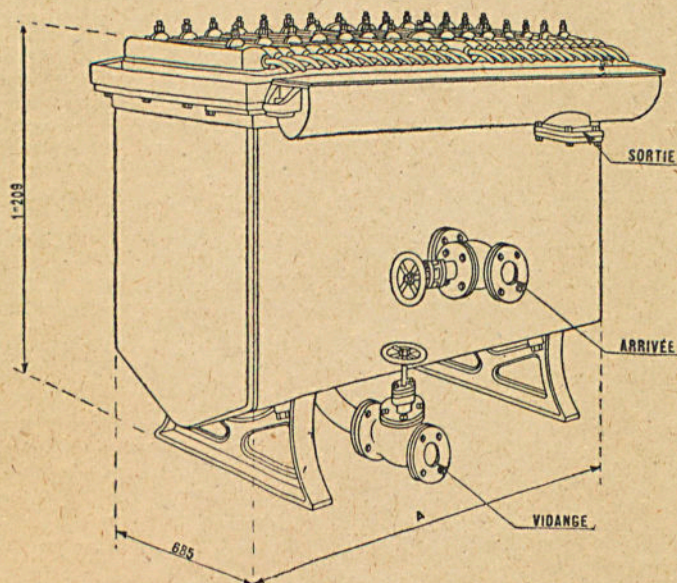


Fig. 80. — Filtre mécanique (Cliché Fives-Lille).

qui est fermé à une extrémité communique avec l'intérieur d'une cuve en tôle à l'aide d'une tubulure. Chaque élément filtrant amène donc son jus séparément en dehors du vase dans lequel arrive le jus à filtrer. Une nochière recueille les liquides filtrés débouchant ainsi des divers éléments.

Ces éléments étant peu épais on en peut fixer 40 dans une cuve d'environ 1 m^3 de volume total, chaque poche représentant 1 m^2 de surface filtrante. A son arrivée dans la cuve le liquide à filtrer, qui y est animé d'une faible vitesse se décante, c'est-à-dire que la majeure partie des substances en suspension tombent au fond de la cuve. D'ailleurs comme la filtration a lieu de l'extérieur à l'inté-

rieur, les impuretés qui se déposent à l'extérieur des toiles ont tendance à s'en détacher et à tomber d'elles-mêmes au fond.

Comme chaque élément filtrant amène isolément vers l'extérieur le produit de son travail de filtration, quand l'un d'eux donne un produit insuffisamment clair on bouche son tube de sortie sans interrompre le fonctionnement de l'ensemble.

Le couvercle de la cuve est fixé sur la cuve elle-même à l'aide d'un joint en caoutchouc. Il oscille autour d'une charnière et on le manœuvre aisément à l'aide d'un contrepoids.

La tôle ondulée de ce système de filtres est remplacée dans le filtre Kasalowski par un tissu métallique analogue à une cote de mailles.

Le filtre *Philippe*, extrêmement répandu, est formé par une cuve en tôle d'acier dont le fond est en forme de V (fig. 80 et 81). La partie supérieure formée par une cornière bien dressée reçoit le couvercle qui est en forme de grille ; il est en fonte et fixé à demeure. Par les fentes de la grille on introduit les éléments filtrants.

Chacun de ceux-ci est formé par une poche en tissu et un cadre en treillis métallique (fig. 82 et 83), acier ou cuivre étamé, servant d'appui au tissu, mais laissant une surface filtrante active très grande. Chaque poche est suspendue au couvercle à l'aide d'un bourrelet formé par une tresse ou une pièce de caoutchouc. Sur le bourrelet se place une chape formant conduit par où se déverse le jus filtré par un bec d'écoulement vers un collecteur (fig. 80). Des boulons de serrage fixent les chapes sur les bourrelets et assurent un joint hermétique.

Le fond du bac est muni d'une vanne d'alimentation qui débouche à mi-hauteur dans la cuve. Le fond est muni d'une seconde vanne servant à l'évacuation des boues.

La surface filtrante de chaque élément est de 1 m².

Au sortir des filtre-presses les jus sont recueillis dans un bac collecteur en charge au-dessus des filtres Philippe. Ils doivent pénétrer dans ceux-ci avec une pression de 2 mètres. Si on augmente cette hauteur pour obtenir un plus grand débit on court le risque de n'obtenir que des jus insuffisamment limpides. Avec la pression normale que nous indiquons ici on obtient, avec des jus bien traités

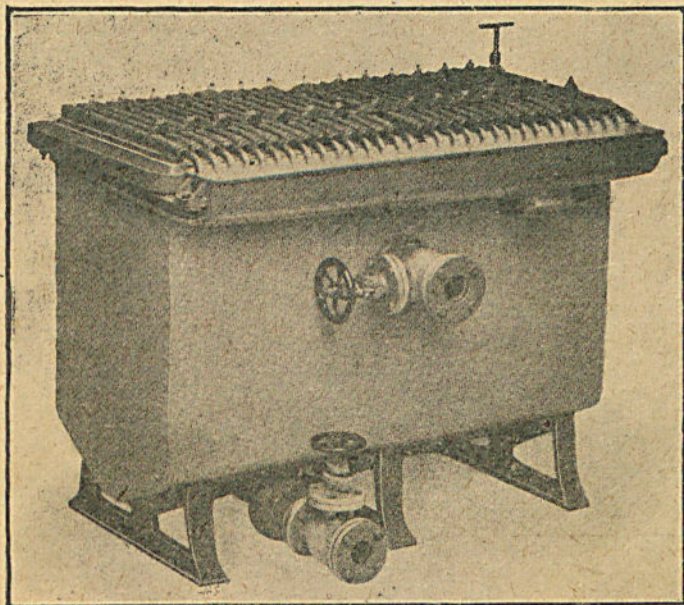


Fig. 81. — Filtre mécanique. Vue extérieure.

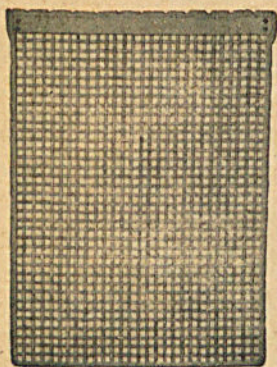


Fig. 82. — Filtre mécanique.
Cadre (Fives-Lille).

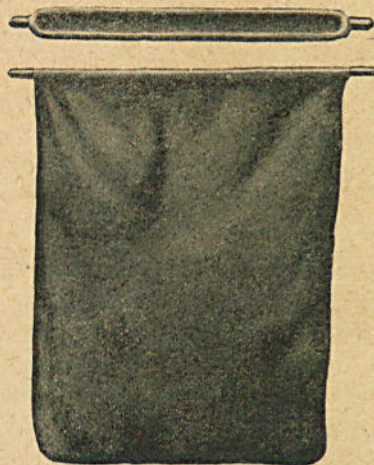


Fig. 83. — Filtre mécanique.
Poche filtrante (Fives-Lille).

au filtre-presse un débit de 200 litres à l'heure par élément filtrant du filtre Philippe.

Les toiles employées sont en coton ; on les nettoie en les passant dans de l'eau à laquelle on ajoute de l'acide chlorhydrique. Le carbonate de chaux imprègne complètement les tissus et arrive à en boucher totalement les pores, il faut donc apporter le plus grand soin au nettoyage des toiles.

On utilise à cet effet des machines formées par un tambour rotatif, dans lequel on introduit les toiles (fig. 86).

On cherche parfois à améliorer la filtration en ajoutant au jus avant filtration diverses substances qui ont pour effet de fixer la matière très fine qui tend à passer à travers le tissu filtrant, sciure de bois et surtout Kieselguhr ou silice fossile (terre d'infusoires). C'est là une complication qu'une bonne fabrication peut éviter ; il faut en tous cas s'assurer que la matière ainsi ajoutée ne cède pas d'impuretés au jus ou, comme certaines silices fossiles, n'absorbe pas l'alcali qui se trouve dans le jus.

On emploie aussi divers systèmes de filtration sur des substances autres qu'un tissu filtrant : bourre de feutre, crin végétal, silice fossile, liège, pâte à papier. Toutes ces tentatives ayant fait l'objet d'applications plus ou moins étendues ont été faites en vue de réaliser une économie sur la dépense importante représentée par l'usure des toiles.

L'emploi des appareils qui utilisent ces matières filtrantes entraîne généralement une dépense supplémentaire de main-d'œuvre.

Des filtres à sable font l'objet d'une application assez développée, soit qu'on les substitue aux filtres mécaniques à tissu soit qu'on les emploie concurremment avec ceux-ci, comme on le fait exceptionnellement d'ailleurs dans certaines usines dont les chefs attachent à l'obtention de jus parfaitement limpides un très haut prix.

Cependant c'est surtout aux sirops plutôt qu'aux jus qu'on applique habituellement la filtration avec des filtres à sable. Mais comme nous ne traiterons pas à nouveau à propos de la filtration des sirops, dont nous aurons à parler plus loin, du matériel employé à cette opération, qui est en principe le même, nous parlerons ici des filtres à sable.

Les filtres *Danek* à sable, qui sont des appareils existant en Autriche depuis une trentaine d'années sous une forme que la pratique a consacrée, sont constitués par un réservoir rectangulaire en tôle terminé par deux parties coniques en fonte. Le tout repose sur un bâti en fonte. La cuve est divisée par une cloison verticale en deux compartiments communiquant largement par le haut, car

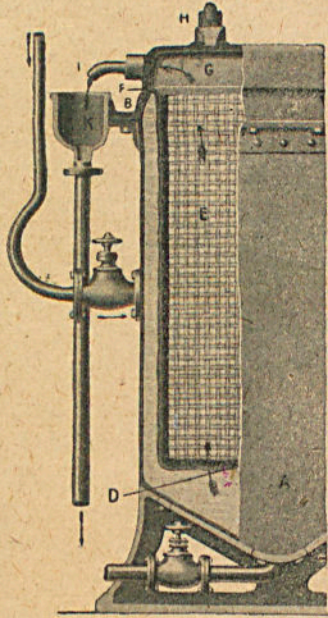


Fig. 84. — Filtre mécanique.
Entrée et sortie du jus (Fives-Lille).

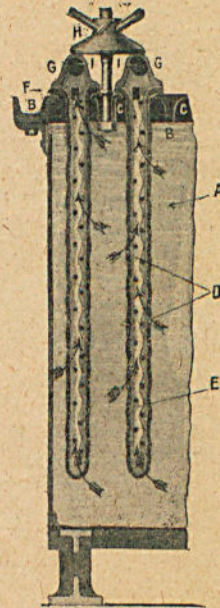


Fig. 85. — Filtre mécanique. Détail
de la fixation des éléments (Fives-Lille.)

la cloison n'occupe qu'une partie de la hauteur. Chacun des compartiments contient quatre châssis tronconiques ouverts formant des étages. Sur une des faces de la cuve on a fixé une tubulure recevant 1^o la soupape d'entrée du jus, 2^o la soupape d'arrivée d'eau servant au dégraissage. Le jus arrive dans un compartiment au-dessus de la cloison médiane, dans lequel est un flotteur relié à la soupape à jus. Le filtre est rempli de sable jusqu'à la partie supérieure des châssis. Le liquide le traverse de haut en bas et s'écoule à la partie inférieure au moyen de tuyaux perforés qui sont en communication avec des boîtes collectrices.

Quand on veut mettre en route le filtre après l'avoir rempli de sable la soupape d'écoulement étant fermée, on fait arriver le sirop par la soupape d'entrée ; le flotteur règle le niveau. On ouvre alors lentement la soupape d'écoulement. Les premières portions de liquide qui s'écoulent sont troubles. On les retourne au bac d'attente. Quand la mise en clair est terminée on règle le débit du filtre qui fonctionne régulièrement pendant un temps qui naturellement

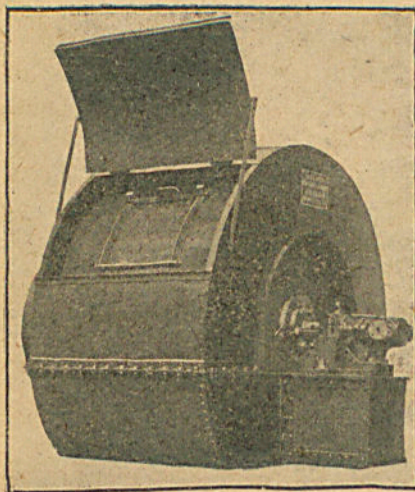


Fig. 86. — Machine à laver les toiles.

varie, suivant la nature du dépôt, mais qui est compris entre douze à vingt heures.

Quand le débit est ralenti on procède au lavage. Pour cela d'abord on ferme la soupape d'entrée, on laisse écouler le jus et on fait arriver l'eau par la soupape disposée à cet effet. On emploie de l'eau chaude. L'eau qui se charge de sucre est envoyée avec le jus tant qu'elle a une grande densité ; puis ensuite est envoyée aux petites eaux. Quand le dégraissage est terminé on fait arriver l'eau sous pression, par une tubulure articulée, des châssis du 1^{er} compartiment dans ceux du second compartiment. Quand tout le sable est ainsi passé, l'eau sale s'est écoulée et le dit sable se trouve lavé, le filtre est prêt à fonctionner de nouveau. L'opération de dégrais-

sage et de lavage du sable dure au total environ une demi-heure. On emploie un volume d'environ un demi-mètre cube de sable par filtre ; on en perd environ 10 % au cours d'une campagne. Une pression de 2 à 3 kilos est nécessaire pour assurer le fonctionnement.

Les autres systèmes de filtre à sable, à la différence du filtre

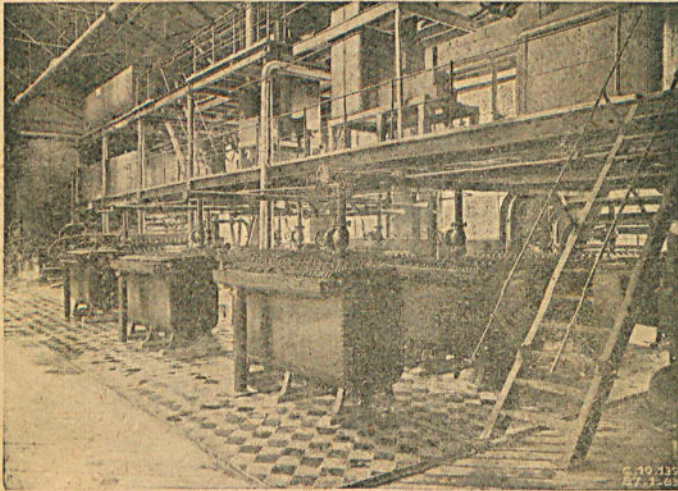


Fig. 87. — Batterie de filtres mécaniques (Fives-Lille).

Danek, sont caractérisés par ce fait que la filtration s'effectue non pas dans le sens vertical mais dans le sens horizontal.

Dans le filtre Abraham, un cylindre à fond conique en tôle renferme, placés l'un au-dessus de l'autre, 6 anneaux coniques ; des ergots dont chaque anneau est muni maintiennent ceux-ci en place et laissent un espace circulaire libre entre eux et la surface interne du cylindre. L'anneau inférieur plus large que les autres, forme joint au fond du cylindre sur lequel il repose à l'aide d'une rondelle en caoutchouc.

Nous ne pouvons entrer dans le détail d'autres filtres à sable comportant d'ingénieuses dispositions pour faciliter le dégraissage ou lavage du filtre et le lavage du sable. Tels sont les filtres Reeneken, le filtre Raimbert. Enfin le filtre Denis est formé d'éléments composés chacun de deux tubes perforés dans lesquels on met une matière filtrante quelconque sable, terre d'infusoires, fibre, tourbe, liège, etc.

CHAPITRE III

EMPLOI DE L'ACIDE SULFUREUX DANS L'ÉPURATION

Généralités.

C'est vers 1807 que l'emploi de l'acide sulfureux fut conseillé par Proust pour le traitement des jus sucrés et en 1829, Dubrunfaut le fit breveter. Il a fallu arriver cependant jusque vers 1882 pour voir son application donner satisfaction. Ce qu'on sait de l'inversion du saccharose par les acides montre assez avec quelle facilité l'emploi de cet acide très énergique peut amener à de déplorables résultats. L'absence de tout contrôle chimique dans la plupart des usines et aussi le manque de bons procédés de filtration explique la longue période d'incertitude, malgré les indications assez précieuses que donnèrent de bonne heure des précurseurs. De très nombreuses publications complètent ces premières données dans les années qui suivent 1884, date de la publication d'un travail complet de *Battut*.

Inversion du sucre par l'acide sulfureux.

La décoloration des jus ou des sirops est d'autant plus grande qu'on introduit plus d'acide sulfureux ; tout acide agit d'ailleurs dans le même sens. Cependant l'acide sulfureux décolore plus que l'acide carbonique même quand celui-ci est en excès et qu'on a formé des bicarbonates.

L'acide sulfureux agit évidemment comme un acide, c'est-à-dire qu'il provoque une inversion du sucre, d'autant plus grande que la température est plus élevée pour une même dose d'acide.

Mais on peut cependant l'employer jusqu'à ce que les liquides soient encore alcalins à la phtaléine du phénol.

De nombreux auteurs ont étudié l'action inversive de l'acide sulfureux notamment Battut, Beaudet, Urbain, etc.

Tant qu'une solution de sucre et des impuretés qui l'accompagnent dans la fabrication du sucre de betteraves, est alcaline à la phtaléine du phénol il n'y a pas d'inversion.

Les bisulfites alcalins ne déterminent pas d'inversion à froid mais en produisent une plus ou moins manifeste aux températures auxquelles en pratique il faut amener les produits. Il faut donc éviter la formation des bisulfites. Lors donc qu'on veut faire suivre la carbonatation d'une sulfitation il faut arrêter l'action de l'acide carbonique avant le terme ordinaire, lorsqu'il y a encore une alcalinité exprimée en chaux de 0 gr, 5 par litre de jus, constituant une *alcalinité stable*.

On nomme alcalinité stable celle qui est caractérisée par le fait suivant : elle ne se modifie pas après ébullition du jus. Elle est due à des bases minérales à l'exclusion de l'ammoniaque des amidés et des amines.

Quand on fait bouillir le jus il arrive qu'il y a *rétrogradation* de l'alcalinité. Ce phénomène est dû aux produits amidés qui se décomposent par l'action de la chaleur en donnant lieu à un dégagement d'ammoniaque et à une perte d'alcalinité.

Le tournesol indique l'alcalinité due aux carbonates et aux produits amidés à la différence de la phénol phtaléine qui n'indique pas ces derniers.

L'alcalinité restant avant la sulfitation doit être une alcalinité due à la potasse et à la soude et non une alcalinité due à la chaux.

Si on sulfite un jus contenant un excès de chaux il se forme, d'abord du sulfite de chaux aux dépens de la chaux libre puis il se forme des sulfites alcalins ; ensuite, l'acide sulfureux déplace les acides organiques combinés à la chaux et forme du sulfite de chaux ; enfin il se forme des bisulfites alcalins. C'est à ce moment que se produit la décoloration du jus. Enfin on arrive à l'acidité par les acides organiques puis par l'acide sulfureux. C'est au stade correspondant au bisulfite alcalin qu'il faut s'arrêter, avant que la neutralité soit dépassée.

Mode d'action de l'acide sulfureux.

L'acide sulfureux joue un rôle extrêmement important dans l'épuration des produits sucrés en raison des propriétés essentielles suivantes :

Il est antiseptique.

Il joue un rôle comme décolorant; ce rôle est d'ailleurs complexe.

Il forme des sulfites qui n'ont pas les propriétés mélassigènes des carbonates.

Il donne des produits qui, à concentration égale, sont plus faciles à évaporer que des produits n'ayant pas subi l'action de cet agent.

Comme son emploi peut s'effectuer aux divers stades de la fabrication depuis le jus de diffusion (où il est à la vérité peu em-

ployé) jusqu'aux égoûts en passant par les sirops et les jus après carbonatation, et en fait on l'applique souvent à la fois sur ces trois derniers produits, nous avons étudié à part l'ensemble des questions ayant trait à la préparation et à l'emploi de l'acide sulfureux, sans tenir compte de la place que l'emploi de cet acide occupe dans la suite des opérations.

Les divers modes d'emploi de la sulfitation.

Les divers modes de traitement des produits par l'acide sulfureux quant au moment où on l'emploie dans le cycle de la fabrication sont, en résumé, les suivants :

1° *Sulfitation des jus de diffusion* immédiatement après la sortie de la batterie.

Les jus sont additionnés d'acide sulfureux jusqu'à ce qu'ils aient une certaine acidité puis on y ajoute la chaux. On continue la carbonatation dans des conditions ordinaires.

C'est un procédé illogique. Il se forme un coagulum sous l'influence de l'acide sulfureux. Pour que l'opération produise une épuration efficace il faudrait que ledit coagulum fût séparé par un moyen quelconque avant que le traitement calcique intervienne. Il se pourrait qu'une application mécanique nouvelle, comme la centrifugation, donnât quelque jour à cette manière d'appliquer l'acide sulfureux un intérêt qu'il n'a pas actuellement.

2° *Sulfitation des jus de deuxième carbonatation*, après filtration de manière à produire une troisième saturation par l'acide sulfureux. On trouve quelques exemples de l'emploi d'une quatrième saturation par l'acide sulfureux en appliquant cet agent aux jus de troisième carbonatation dans des usines qui pratiquent trois carbonatations.

3° *Sulfitation des jus de deuxième carbonatation* en introduisant l'acide sulfureux dans la chaudière même où s'effectue la saturation par l'acide carbonique après l'action de celui-ci et pour la compléter. On arrête l'action de l'acide carbonique lorsque l'alcalinité est réduite par exemple à 0 gr, 40 de chaux par litre ; puis on fait agir l'acide sulfureux jusqu'à ce que l'alcalinité soit réduite à 0 gr, 1 par litre au minimum.

On peut aussi faire passer l'acide sulfureux en même temps que l'acide carbonique dans la chaudière.

Disons de suite que cette manière d'opérer est absolument à proscrire, car l'acide sulfureux déplace l'acide carbonique de ses combinaisons et les matières précipitées par cet acide carbonique se redissolvent. C'est aujourd'hui une règle constante de ne sulfiter que des jus limpides.

4° *Sulfitation des sirops* de faible densité au cours de l'évaporation lorsqu'ils ont un degré Baumé compris entre 12 et 18°.

Bien entendu cette sulfitation ne peut se pratiquer que si on a laissé une certaine alcalinité dans les jus avant de les envoyer à l'appareil à évaporer.

Après leur sulfitation, qui se fera par exemple entre le deuxième et le troisième corps d'un quadruple effet, les sirops sont filtrés ; puis rentrés dans l'appareil à évaporer pour que leur concentration soit continuée.

Ce qui justifie cette manière d'opérer c'est que l'action du gaz est plus énergique sur un liquide moins concentré. Il y a aussi diminution des dépôts dans l'appareil à évaporer.

5° *Sulfitation des sirops* à la sortie de l'appareil à évaporer, avant l'envoi à la cuite, lorsqu'ils ont 25 à 30 B°. La sulfitation de ces sirops, qui est poussée jusqu'à une très faible alcalinité, est suivie d'une filtration. Là encore il est nécessaire qu'une certaine alcalinité subsiste dans les sirops avant l'action de l'acide sulfureux.

6° *Sulfitation des Égouts*, c'est-à-dire des sirops qui ont abandonné du sucre par cristallisation, avant leur rentrée dans les appareils où, dans des conditions variables, ils subissent une nouvelle concentration.

Quand on a sulfité des jus et qu'on les transforme en sirop dans l'appareil à évaporer, on constate que si on dilue le sirop de manière à le ramener exactement à la même concentration que le jus dont on est parti, on obtient un produit plus coloré que le jus primitif.

Les divers modes d'emploi de l'acide sulfureux que nous avons énumérés plus haut peuvent être employés simultanément. C'est ainsi qu'on pratique souvent une sulfitation des jus en neutralisant la moitié de l'alcalinité et neutralisant l'autre moitié par l'action

de l'acide sulfureux dans les sirops. Bien entendu la sulfitation doit se pratiquer sur des produits dont la chaux libre a été éliminée par l'acide carbonique, sous peine d'avoir dans les appareils à cuire des incrustations de sulfite et de sulfate de chaux.

Lorsqu'on a affaire à des betteraves altérées il est difficile de réaliser cette condition et la sulfitation des jus donne lieu à des incrustations dans le premier corps de l'appareil à évaporer.

C'est d'ailleurs surtout dans ce cas que l'action antiseptique de l'acide sulfureux est utile.

La sulfitation est efficace à condition d'être réellement appliquée, c'est-à-dire, jusqu'à un degré tel qu'il reste seulement dans le jus concentré une alcalinité naturelle, très légère, mais certaine, caractérisée par la neutralité à la phtaléine et une teinte violacée au tournesol.

M. Dutilloy (*Journal des Fabricants de sucre*, 9 juillet 1920) écrit : « Sulfitez vos sirops avec le seul papier de tournesol comme indicateur et jusqu'à la teinte violacée. Vous pourrez toujours le faire en temps ordinaire et dans une fabrication bien conduite. D'autre part, n'ayez aucune crainte pour vos bas produits car vous ne devez pas oublier que l'acide sulfureux est un excellent antiseptique ! »

Production de l'acide sulfureux gazeux.

Principes généraux.

On emploie le plus habituellement l'acide sulfureux produit à l'usine même par la combustion du soufre. On ne peut évidemment obtenir un gaz d'une teneur supérieure à la teneur en oxygène de l'air soit 12 % avec un four fonctionnant d'une manière parfaite.

Beaucoup d'appareils cependant donnent un gaz qui contient encore un excès d'oxygène ; il en résulte non-seulement l'inconvénient de l'emploi d'un gaz actif plus dilué mais encore l'augmentation des chances de production d'acide sulfurique.

On a fait d'abord des appareils à production de l'acide sulfureux de types assez variés ; mais les différences qu'ils présentent entre eux ne sont pas essentielles. Ils comprennent tous :

- Un *moufle* ou *laboratoire* dans lequel s'effectue la combustion du soufre.
 Une *trémie* de chargement pour introduire le soufre pendant la marche.
 Un *sublimeur* pour recueillir les vapeurs de soufre entraîné.
 Une *pompe* ou un *compresseur* d'air amenant sous pression l'air nécessaire à la combustion.
 Un *sécheur d'air* à l'aide de la chaux. Le séchage de l'air est nécessaire pour éviter la production d'acide sulfurique.
 Un *réfrigérant* à circulation d'eau.
 Un *laveur* à gaz.
 On peut remplacer l'emploi d'air comprimé par l'emploi du vide; au lieu d'amener l'air comprimé en avant de l'installation sur le sécheur à gaz on met

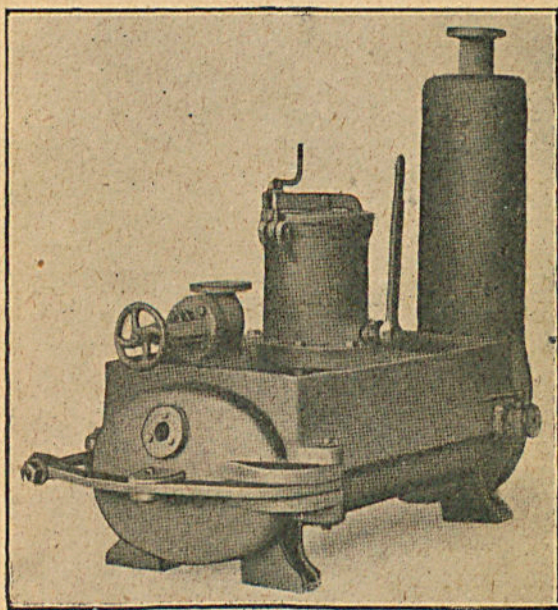


Fig. 88. — Four à soufre.

en communication avec le condenseur barométrique le récipient dans lequel on met en contact le gaz et le produit à sulfiter.

Lorsqu'on emploie l'air comprimé on a l'inconvénient suivant: les fuites de l'appareil provoquent des dégagements de gaz sulfureux, désagréables; de même l'introduction du soufre lors du rechargement de l'appareil oblige les ouvriers à recevoir des bouffées de gaz assez pénibles à respirer.

Le four fonctionnant par aspiration ne donne pas lieu à cet inconvénient. C'est ce qui explique le succès de la sulfitation continue de Quarez. Ce procédé a l'avantage de supprimer les chaudières à sulfiter.

Dans ce système de sulfitation, le liquide arrive dans un récipient d'où une pompe le prend pour l'envoyer à travers un éjecteur dans lequel arrive le gaz sulfureux: c'est le liquide à sulfiter qui provoque l'aspiration du gaz sulfureux nécessaire à sa sulfitation.

Le gaz sulfureux est produit dans une capacité en fonte dans laquelle on introduit une coupelle qui reçoit le soufre. Au-dessus de la chambre où se produit la combustion est un réservoir qui contient de l'eau destinée à refroidir le gaz. Celui-ci est surmonté d'un sublimateur ; avant d'arriver au réservoir l'eau de refroidissement circule autour du tuyau de dégagement du gaz sulfureux.

Un des avantages de la sulfitation Quarez est de mettre l'acide sulfureux en contact avec des portions sans cesse renouvelées du liquide à sulfiter.

Quand on emploie des chaudières à sulfiter on réalise cette condition nécessaire par l'emploi d'un agitateur.

On peut employer toute espèce de soufre pour produire l'acide sulfureux (soufre brut, soufre en canons, soufre régénéré).

Cependant le soufre de Sicile brûle mieux parce qu'il est formé de la seule variété de soufre octaédrique α à point de fusion plus bas que le soufre prismatique β ou le soufre précipité γ (114° au lieu de 200°) ; il lui faut une moindre surface de combustion.

L'emploi du soufre pur ne laissant pas de résidu est avantageux parce qu'il n'encrasse pas les fours. Il y a toujours production d'une certaine quantité d'acide sulfurique, aussi le gaz doit-il être lavé à la sortie du four.

Modèles divers de fours à soufre.

La combustion du soufre peut être produite par injection d'air comprimé comme dans le plus ancien four employé dès 1880 par Vivien et Messian, ou le four Lacouture qui comporte une chambre contenant de la chaux dans laquelle passe l'air avant d'arriver au contact du soufre ; le four Vonhoff, qui permet de faire les charges en marche, le four Schneider et C^{ie}, le four Descamps.

Dans une autre classe de fours l'air est amené au contact du soufre par aspiration. Dès le début de l'emploi de l'acide sulfureux on construisit de tels fours et le four de Vivien et Messian fut modifié en utilisant le vide barométrique dont nous parlerons plus loin.

Dans l'appareil Quarez (fig. 89) l'aspiration se fait par une trompe analogue à celle utilisée dans les laboratoires. Le liquide qui est injecté dans la trompe est le jus ou le sirop lui-même que l'on veut sulfiter. C'est dans la colonne descendante de cette trompe que se fait la sulfitation. Le four est ouvert et constitué par une chambre parallépipédique contenant la coupelle où brûle le soufre qu'on y introduit par une porte ; l'air arrive par en dessous en traversant une chambre contenant de la chaux vive pour le dessécher ; cette chaux est placée sur des chambres disposées en chicane. Au-dessus de la chambre, comme dans les appareils précédemment décrits, se trouve le réservoir d'eau de refroidissement et le sublimateur.

Le gaz traverse à la suite du sublimateur un long tuyau vertical qui se termine à la trompe. Ce tuyau vertical est entouré d'un manchon dans lequel de bas en haut circule de l'eau froide.

Quant à la trompe proprement dite elle est formée d'une enveloppe en fonte, ayant la forme de deux troncs de cône renversés

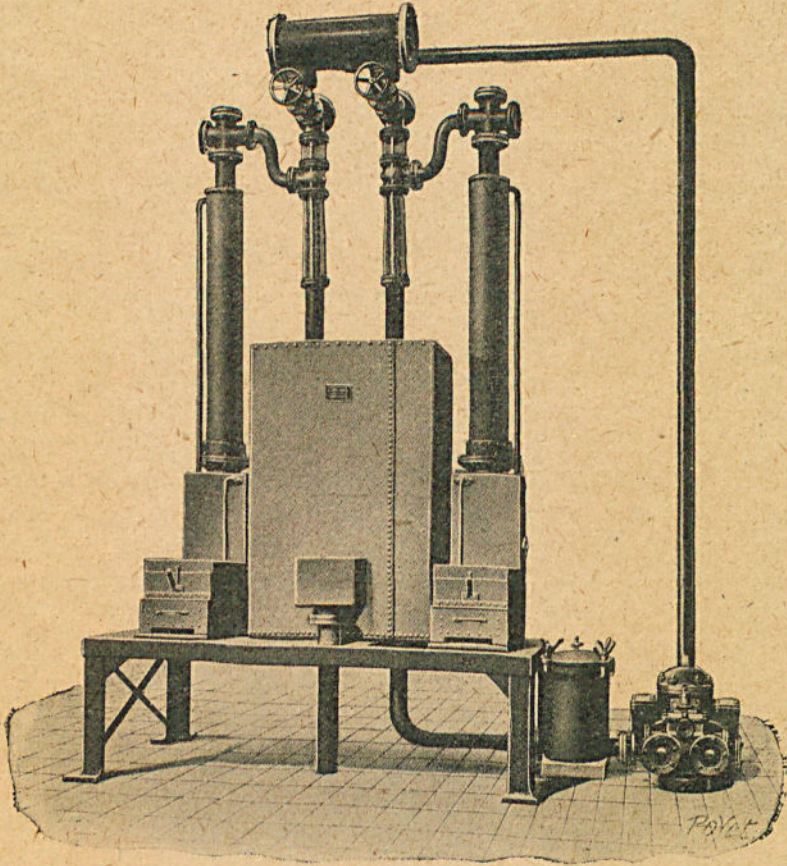


Fig. 89. — Appareil de sulfitation double (Etablissements Maguin).

dans laquelle le gaz arrive latéralement. Au centre une tuyère amène le liquide à sulfiter qui y est refoulé par une pompe.

Le liquide et le gaz tombent dans un tuyau qui a 2 ou 3 mètres de hauteur et plonge par le bas dans un bac. Au bas de ce tuyau

est une crépine qui divise fortement les deux fluides qui y arrivent ensemble ; une série d'entretoises échelonnées de manière à former un pas d'hélice brisent la veine et forcent le gaz à s'incorporer étroitement au liquide. Dans le bac, le liquide est repris par une pompe qui le remonte au haut de la trompe, de manière à ce qu'il puisse repasser plusieurs fois dans la trompe jusqu'à ce qu'il ait atteint le point de sulfitation convenable.

Il faut d'ailleurs observer que la sulfitation se fait au bas de la colonne c'est-à-dire en réalité sous pression.

L'appareil Quarez ne comporte pas de lavage du gaz. L'auteur du procédé a constaté en raison de la régularité de la combustion à l'air libre qui se fait dans le four de son appareil, qu'il n'y avait pas d'acide sulfurique et que le lavage était inutile.

Four Porak.

D'autres appareils qui appliquent de même la combustion par aspiration méritent d'être cités. L'appareil Porak est basé sur le principe suivant :

Le gaz d'un four à acide sulfureux ouvert est aspiré au moyen d'une trompe à eau saturée d'acide sulfureux. L'eau et le gaz pénètrent dans un réservoir fermé où ils se séparent. L'eau sulfureuse est reprise par une pompe et revient de nouveau dans la trompe ; c'est en somme toujours la même eau qui ressert ; (c'est l'application du principe de la forge catalane).

L'eau se charge de tout l'acide sulfurique produit dans la combustion. On la change quand elle est trop chargée d'impuretés.

Fours à soufre à Injecteurs. — Dans ces systèmes au sortir du four à soufre le gaz se rend dans une sorte de Giffard à vapeur, gaz et vapeur étant refoulés ensemble dans la cuve à sulfiter.

C'est un système d'application ancienne, déjà en sucrerie de cannes. Dans le modèle construit par la Société Schneider l'air nécessaire à la combustion est aspiré par un clapet réglable monté sur le couvercle de la cornue dans laquelle brûle le soufre, au moyen de deux injecteurs.

Un gros injecteur sert en même temps à l'aspiration de l'air et au refoulement du gaz sulfureux aux sulfiteurs.

Le petit injecteur a pour fonction d'empêcher le soufre de s'éteindre dans le cas où le poste de sulfitation ne consomme pas

de gaz, alors que le gros injecteur ci-dessus indiqué ne fonctionne pas. Le petit injecteur se met alors automatiquement en marche, provoquant un faible courant d'air et rejetant au dehors les gaz produits.

Un système particulier de chaînes et leviers commande les deux injecteurs de façon à ce qu'ils ne fonctionnent jamais en même temps et que le petit se mette automatiquement en marche quand on ferme le grand.

Chaudières à sulfiter.

Les chaudières à sulfiter sont habituellement formées par un bac cylindrique dans lesquelles le gaz est amené par barbotage à l'aide de tuyaux de plomb (fig. 90). Ces chaudières doivent être munies d'un agitateur ; elles sont parfois chauffées par un serpentín de cuivre. Mais en général dans les installations modernes on remplace les appareils de chauffage des chaudières par des réchauffeurs de jus.

Lacouture emploie pour injecter l'acide sulfureux dans les chaudières, au lieu d'un tuyau de plomb, un système analogue à celui qui est employé pour la carbonatation : c'est le dispositif nommé « tête de mort » portant latéralement quatre tuyaux horizontaux, le tout en plomb. Ces tuyaux sont percés de trous à la partie inférieure, formant ainsi une étoile qui distribue le gaz très régulièrement dans la masse du liquide.

Nous rappelons ici que les appareils Quarez et analogues dispensent de l'emploi des chaudières à sulfiter.

Sulfitation par l'acide sulfureux liquide. — L'emploi d'acide sulfureux liquide présente sur l'emploi de l'acide sulfureux produit dans un four à combustion du soufre de très sérieux avantages. Tout d'abord celui de supprimer le fonctionnement des appareils producteurs d'acide sulfureux à l'usine, où, pendant la campagne, il est toujours bon de supprimer toute cause de difficulté. Mais en outre on emploie un produit qui ne donne pas lieu à la production d'acide sulfurique. Ces avantages en faveur de l'acide sulfureux compensent largement l'excès de dépense qui peut résulter du prix sensiblement plus élevé de l'acide sulfureux liquide par rapport au prix de l'acide sulfureux gazeux produit à l'usine. Cependant

il est difficile d'établir avec certitude cette différence de prix car il y a un coefficient d'utilisation bien différent dans les deux cas et tout en faveur de l'acide sulfureux liquide.

L'industrie livre de l'acide sulfureux qu'on peut dire sinon chimiquement pur du moins d'une pureté tout à fait suffisante pour la pratique de l'industrie sucrière (il est notamment exempt d'arsenic).

L'acide sulfureux bout à -10° à la pression de 760 m/m. Le tableau ci-dessous résume les pressions aux diverses températures :

Température	Pression en atmosphères
$- 20^{\circ}$	0,5
$- 10$	1
0	1,5
+ 10	2,25
20	1,25
30	4,10
50	8,20

L'emploi courant d'acide sulfureux liquide dans une grande sucrerie comporte l'usage de réservoir à l'usine. Il est en effet beaucoup plus économique de transporter le produit dans des réservoirs fixés sur wagons, plutôt que par des bouteilles constituant un gros poids mort et de location coûteuse.

L'emploi de l'acide sulfureux liquide est facilité par le sulfitomètre *Pacotet* qui sert en vinification à sulfiter les vins.

On peut sans inconvénient employer directement l'acide sulfureux prélevé à l'aide du sulfitomètre dans le récipient à acide sulfureux liquide.

La sulfitation discontinuée se pratique dans une chaudière munie de barboteurs, simples tuyaux percés de trous. On relie les barboteurs au sulfitomètre, fixé sur la chaudière, et relié lui-même au récipient à acide sulfureux. On fait écouler peu à peu le contenu du sulfitomètre, convenablement jaugé ce qui est facile étant donné le volume de jus à sulfiter, et le degré de sulfitation qu'on veut réaliser. A condition d'agiter convenablement le liquide dans la chaudière, à l'aide de l'arbre à palettes ou de l'hélice dont la chaudière est munie, aucune inversion n'est à craindre.

On peut aussi pratiquer la sulfitation continue à l'aide de l'acide sulfureux liquide. La régularité de débit qu'on peut obtenir facilite l'opération. On emploie une chaudière divisée en deux compartiments. Le jus arrive par le bas de l'un d'eux par une con-

duite munie d'un robinet de réglage. Le gaz sulfureux sortant d'un appareil détenteur arrive dans des barbotteurs ; le mélange s'effectue aisément ; le jus passe par débordement dans l'autre compartiment de la chaudière et de là va aux filtres.

Les essais de sulfitation continue faits à Nassandres ont permis de constater les faits suivants :

Pour 100 kilos d'acide sulfureux liquide dépensés on a retrouvé

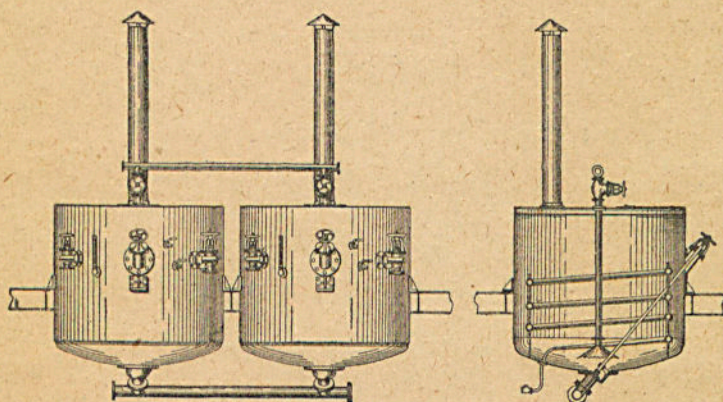


Fig. 90. — Chaudières à sulfiter.

dans les jus 87 k. à l'état de sulfites, 12 k, 50 à l'état de sulfates ; perte insignifiante de 0,5 % seulement.

Dans des essais comparatifs avec l'acide sulfureux gazeux (produit dans un four Quarez) on a trouvé : pour 100 kilos de soufre qui, théoriquement fournissent 200 kilos d'acide sulfureux, 120 kilos à l'état de sulfites, 17 kilos à l'état de sulfates. La perte est ici de 31 %.

Procédé de sulficarbonation de J. Weisberg. — Ce procédé fort intéressant, décrit dans le *Bulletin de l'Association des chimistes* (t. XI p. 972), mérite une mention spéciale.

L'acide sulfureux est employé à dose sensiblement plus élevée que dans le procédé de sulfitation ordinaire. On fait en effet agir l'acide sulfureux sur les jus de première carbonatation.

Les jus de première carbonatation bien filtrés, ayant une alcalinité à la phénolphtaléine comprise entre 0,8 et 1,2 par litre,

exprimée en chaux, sont introduits dans les chaudières à sulfiter à une température de 60 à 80°. On les traite par l'acide sulfureux jusqu'à neutralité à la phénolphtaléine, mais à un degré d'alcalinité nettement marqué par le tournesol neutre.

On ajoute alors, dès que ce point est atteint, de la chaux sous forme de lait de chaux à raison de 1 à 2 litres par hectolitre de jus. Puis on réchauffe à 85°. On carbonate alors, à chaud, en poussant l'action de l'acide carbonique jusqu'au même point d'alcalinité que dans la pratique habituelle de la 2^e carbonatation.

On chauffe alors à l'ébullition maintenue une à deux minutes, et on soumet ensuite à la filtration.

Les sirops obtenus après évaporation de jus ainsi traités sont bien décolorés.

Weisberg a ajouté à son procédé, l'emploi éventuel de carbonate de baryum précipité.

Emploi des hydrosulfites.

L'emploi des hydrosulfites en sucrerie est à rapprocher de l'emploi de l'acide sulfureux puisque, pour une partie, tout au moins, le produit de la décomposition des hydrosulfites, corps peu stables, est de l'acide sulfureux. Nous verrons plus loin qu'en réalité le dégagement d'acide sulfureux n'est pas le seul effet utile de l'introduction des hydrosulfites dans les produits sucrés.

L'acide hydrosulfureux, résultant de l'action du zinc ou de l'étain sur l'acide sulfureux est fort instable et non isolé, mais il donne lieu à la formation de sels qui sont employés couramment dans l'industrie sucrière, notamment l'hydrosulfite de zinc, l'hydrosulfite de chaux et l'hydrosulfite de soude.

En pratique l'acide hydrosulfureux et les hydrosulfites se préparent en partant du zinc et de l'acide sulfureux, celui-ci étant employé soit à l'état gazeux (à condition qu'il soit produit bien exempt d'oxygène) soit à l'état liquide. On commence donc toujours par produire de l'hydrosulfite de zinc. Ce produit trouve directement son application en sucrerie. On emploie aussi des hydrosulfites de chaux ou de soude produits par double-décomposition.

L'hydrosulfite de chaux est employé en sucrerie sous le nom de *redo*; il est livré en pâte et sa conservation est limitée. L'hydrosulfite

de soude est livré sous forme de poudre sèche de conservation pratiquement illimitée. Il a été d'abord préparé en Allemagne sous le nom de *blankit*. Il se fabrique couramment en France maintenant.

Mode d'action des hydrosulfites.

Il n'est pas inutile de rappeler, car on voit parfois cette vérité essentielle méconnue, que les hydrosulfites ont une activité toute

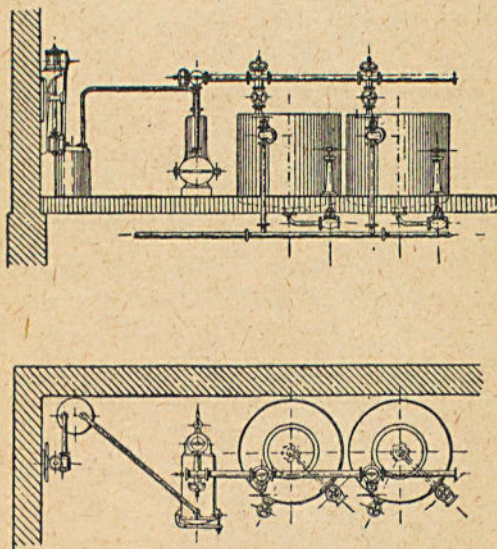


Fig. 91. — Installation d'une sulfitation. Elévation et plan.

particulière et très différente de celle de l'acide sulfureux ; ils produisent en effet un dégagement d'hydrogène naissant en même temps qu'ils produisent en milieu alcalin du sulfite de calcium ou du sulfite de sodium avec la chaux ou la soude en excès contenus dans le produit sucré dans lequel on les introduit.

L'acide sulfureux donne naissance à un sulfite, mais ne produit pas d'hydrogène naissant. Cette différence est capitale et se traduit par une action très différente sur la décoloration des produits, celle que détermine l'hydrosulfite étant très supérieure à celle que produit l'acide sulfureux.

Enfin une action non expliquée mais certaine est produite par les hydrosulfites sur les jus et sirops auxquels on les ajoute :

leur évaporation est plus facile et surtout la cristallisation des sirops se fait plus aisément.

On dit communément que l'hydrosulfite diminue la viscosité ; c'est là une explication de l'action bienfaisante de ce produit qui est un peu insuffisante. La viscosité d'un produit sucré, lorsqu'il est concentré, est due surtout à la présence du saccharose. La solution de sucre pur est très visqueuse, davantage, à densité et à température rigoureusement égales, que la solution de non sucre.

Si donc on détermine la viscosité d'un produit ayant reçu de l'hydrosulfite et la viscosité d'un produit on obtient les mêmes chiffres, si on fait les mesures des viscosimètres basés sur l'écoulement des solutions dans les tubes capillaires. Mais en pratique à l'appareil à cuire les sirops hydrosulfités cuisent mieux. On dit en conséquence qu'ils sont moins visqueux. Quelle que soit d'ailleurs l'explication recherchée, le fait est indéniable et c'est là pour nous l'essentiel.

C'est en milieu très légèrement alcalin que se manifeste l'action de l'hydrosulfite de la manière la plus efficace. C'est là précisément une condition des plus favorables pour être à l'abri des inversions de sucre. Cependant il faut noter que c'est quand on se trouve aussi près que possible de la neutralité que l'efficacité est la plus grande.

L'hydrosulfitation a donc sa place dans la fabrication non en concurrence, mais comme complément de la sulfitation.

L'emploi de l'hydrosulfitation a d'abord été fait en raffinerie sous forme d'hydrosulfite de chaux, produit qui n'existe qu'à l'état humide vendu sous le nom de redo.

Il conviendrait d'ailleurs de citer les essais de l'emploi de l'hydrosulfite dans le procédé Ranson pratiqué en 1896 à la sucrerie de Flavy-le-Martel. On employait dans ce procédé l'hydrosulfite produit au sein même du liquide à décolorer en y ajoutant de la poudre de zinc en même temps qu'on sulfétait.

Il y a unanimité des techniciens de cette époque pour constater l'efficacité de l'action de l'hydrosulfite. Et non seulement on constatait l'action sur la coloration mais encore la modification de l'état physique, facilitant évaporation et cuite. M. Vivien, résumant toutes les observations faites, dit au Congrès de 1897 de l'Association des Chimistes à Compiègne : « L'acide hydrosulfureux est un réducteur très énergique ; à l'état naissant il détruit 85 à 95 %

de la matière colorante, précipite une certaine quantité de la matière azotée et diminue considérablement la viscosité des sirops. Beudet (juillet 1897) établit nettement que le sirop hydrosulfité est beaucoup plus décoloré que le sirop seulement sulfité.

On tente ensuite (procédé Urbain) l'emploi de l'électrolyse pour produire l'acide hydrosulfureux, la production d'acide au sein des liquides sucrés, qui a toujours lieu par les procédés de l'électrolyse ne leur permet pas d'entrer dans la pratique.

L'hydrosulfitation devait entrer dans la pratique par l'utilisation d'hydrosulfites préparés à l'usine de produits chimiques; plus tard c'est en produisant l'hydrosulfite à la sucrerie même qu'on trouve la solution la plus pratique.

En sucrerie c'est en 1902 que le redo ou hydrosulfite de chaux est employé dans les jus.

L'hydrosulfite de zinc est d'un emploi plus économique que l'hydrosulfite de chaux dans le traitement des jus verts. Il présente l'avantage d'une grande simplicité de fabrication qui peut être pratiquée à l'usine même soit en partant de l'acide sulfureux liquide soit en partant de l'acide sulfureux gazeux, suivant des procédés parfaitement mis au point par M. L. Descamps et la Société industrielle des dérivés du soufre.

M. Dutilloy a fait breveter un procédé qu'il appelle *Menoscal* (moins de chaux) caractérisé par l'emploi d'une quantité moindre de chaux grâce à l'addition d'hydrosulfite.

M. Dutilloy conseille de pratiquer comme suit son procédé.

On a installé à côté du bac mesureur de lait de chaux, au-dessus du bac jaugeur de la diffusion, un bac muni d'un malaxeur contenant l'hydrosulfite de chaux ou l'hydrosulfite de zinc. La soupape de soutirage étant ouverte, l'ouvrier verse un volume déterminé de l'hydrosulfite dans le bac jaugeur.

La dose de chaux employée peut être seulement de 13 gr. par litre grâce à l'emploi de l'hydrosulfite. La carbonatation est poussée jusqu'à une alcalinité de 1 gr. par litre sans jamais descendre au-dessous de 0 gr, 8.

L'auteur insiste beaucoup pour que dans son procédé l'introduction de l'hydrosulfite soit faite *avant* chaulage.

La substitution de l'hydrosulfite de zinc à l'hydrosulfite de chaux constitue une importante simplification du procédé puisqu'il permet d'employer le produit fabriqué à la sucrerie même.

Il suffit d'ajouter environ 1 litre par 20 hectolitres de jus.

Il va sans dire que, par l'action de la chaux en excès, le zinc est précipité et qu'il n'en reste pas trace dans les jus. Sa présence dans les écumes, en très faible quantité d'ailleurs ne présente nul inconvénient.

La dépense par tonne de betteraves travaillées est en hydrosulfite de zinc (50 grammes d'acide sulfureux et 35 grammes de zinc) de 15 à 20 centimes (en 1921).

L'économie de chaux correspond à au moins 1 fr. par tonne de betteraves travaillées. De plus on a réalisé des économies difficiles à chiffrer mais certaines sur la carbonatation, les filtrations, l'évaporation, etc. Sans parler du gain, en rendement et qualité, du sucre produit.

Le traitement par les hydrosulfites pratiqués aux divers postes à l'usine de Verberie, a donné pour l'épuration générale, les dépenses suivantes par tonne pour 1920-21.

Épuration calco-carbonique (pierre à chaux, coke).....	2,50
Sulfitation des sirops	0,10
Procédé menoscal (acide sulfureux, zinc)	0,20
Traitement des égoûts par le <i>redo</i> (hydrosulfite de chaux en pâte) 30 grammes à 3,60 le kilo.....	0,12
	<hr/> 2,92

Dans ce chapitre, les traitements par les dérivés du soufre, largement pratiqués, entrent seulement pour 0 fr. 44. M. Dutilloy observe que cette somme est peu de chose auprès de 100 frs au moins que représentaient les frais généraux pour cette campagne.

L'hydrosulfitation des égoûts est particulièrement intéressante. Elle s'effectue en versant environ 50 grammes d'hydrosulfite par hectolitre de sirop dans une chaudière d'attente avant envoi aux appareils à cuire ou dans l'appareil à cuire lui-même. Là encore on observe avec l'emploi de l'hydrosulfite une très grande facilité de filtration.

L'épuration due aux hydrosulfites est manifeste; elle se traduit sans doute par l'élimination d'une bien faible quantité de matières. Cette épuration cependant se traduit par un fort dépôt noir et visqueux sur le filtre.

C'est sans doute, là encore, lorsque des études de chimie des colloïdes auront été plus approfondies que l'explication des phénomènes observés nous apparaîtra plus clairement.

CHAPITRE IV

PROCÉDÉS DIVERS D'ÉPURATION DES JUS SUCRÉS

Généralités.

Il existe plus de trois cents procédés basés sur l'emploi de divers réactifs, qui sont le plus souvent des rééditions d'applications ou de projets tombés dans l'oubli et dont la renaissance fut elle-même éphémère ; on peut dire que toute la chimie, organique et minérale, y a passé.

Beaucoup de ces procédés sont d'ailleurs économiquement absurdes en raison du prix des produits chimiques qu'ils mettent en œuvre.

Parmi tous les procédés composés, si certains n'ont dû qu'à une habile publicité ou à des interventions financières puissantes, une notoriété que le succès ne sanctionne pas, d'autres ont été le résultat d'intéressantes recherches et de très méritoires efforts.

Parmi les substances employées dans un but d'épuration il en est qui en même temps ont une action antifermentescible qui par conséquent ont conservé à ce titre une valeur pratique et sont d'emploi assez fréquent : tels sont le carbonate de soude qui alcalinise et les bisulfites alcalins. Au total ce sont plutôt des remèdes employés pour corriger des défauts de fabrication *évitables* le plus souvent d'ailleurs.

Emploi de produits formant des combinaisons insolubles avec le sucre.

C'est un moyen d'épuration des jus sucrés de former avec le saccharose un produit insoluble et de laisser les impuretés en solution. La baryte fut employée dans ce but en 1868 par Robert de Massy et bientôt abandonnée à cause de la difficulté de régénération. C'est un produit toxique et cher mais qui a sur la chaux la supériorité de former plus facilement un sucrate insoluble.

Nous avons vu que la baryte est employée aussi à faible dose, non pour former des sucrates insolubles, mais dans un tout autre but, notamment dans le procédé de sulficarbonatation de Weisberg.

La baryte est de régénération difficile. On a eu recours aussi à la strontiane qui est de régénération plus facile et de plus n'est pas toxique (Innemann, Du Rieux, Rottger).

Nous aurons l'occasion de revenir sur la formation des sucrates.

D'ailleurs l'emploi de la chaux pour séparer le sucre à l'état de sucrate fut proposé par E. Rousseau qui avait conçu l'idée de sucrateries agricoles où on produirait du sucrate envoyé dans une usine centrale pour y être traité.

Emploi de l'acide phosphorique et des phosphates.

L'*acide phosphorique* et ses composés ont fait l'objet de nombreuses tentatives en vue de précipiter la chaux. Kulhmann proposa tout d'abord dans ce but le *phosphate d'ammoniaque*.

Lagrange employa aussi du phosphate d'ammoniaque puis y adjoignit la baryte ; l'*acide phosphorique* seul fut employé en Allemagne.

Pfeiffer et Colette préconisèrent l'emploi de *phosphate acide de chaux* provenant du lessivage de superphosphate. Quelques applications en furent faites. L'impureté du produit était un inconvénient grave.

L'emploi de phosphate acide de chaux provenant du traitement du noir animal par l'acide carbonique fut breveté par Rivet en 1865.

Il est curieux de noter que l'emploi du superphosphate entre maintenant dans la pratique industrielle pour la purification des jus concentrés obtenus par le lessivage des cossettes desséchées dans le procédé de Vecchis, après que ceux-ci ont reçu une faible quantité de chaux.

Procédé au phosphosulfite de chaux de MM. Prangey et de Grobert. Ce procédé est basé sur les propriétés d'une combinaison de phosphate et de bisulfite de chaux qu'on obtient en faisant agir l'acide sulfureux liquéfié ou gazeux sur du phosphate de chaux tribasique en suspension dans l'eau. Le produit de cette action qui cristallise facilement, est employé sous forme de solution saturée qu'on incorpore au jus brut à température ne dépassant pas 45°. On chauffe ensuite jusqu'à 70° puis on verse du lait de chaux en

quantité suffisante pour donner au jus une alcalinité de 0,05 à 0,06 pour 100 cc et on élève la température jusqu'à 90° et on filtre.

Le jus clair additionné d'une petite quantité de chaux est sulfité jusqu'à neutralité à la phtaléine du phénol, chauffé à l'ébullition et filtré.

On obtient ainsi, avec une épuration organique plus élevée que celle que donne la carbonatation, une très bonne filtration.

Il faut naturellement préparer à l'usine le réactif qui n'existe pas dans le commerce, mais ce serait chose très facile.

Purification des jus concentrés obtenus par traitement des cossettes séchées.

M. de Vecchis a fait breveter un mode de purification des jus consistant à employer une faible quantité de chaux, qui correspond à moins de 0,50 % du poids des betteraves, puis à ajouter du superphosphate pour neutraliser l'excès de chaux, et en outre une faible quantité de carbonate de chaux. Ce dernier produit a pour effet non seulement de neutraliser l'excès d'acide phosphorique qui aurait pu être ajouté mais encore d'augmenter la masse filtrante.

Il convient de remarquer qu'on a déjà proposé l'emploi sinon de superphosphate mais de phosphate acide. En réalité ce mode d'épuration n'est applicable qu'aux jus obtenus en traitant des betteraves dont on a rendu parfaitement insolubles, par un traitement préalable par la chaleur, les albuminoïdes et les matières pectiques ; en sorte que ce mode d'épuration est complémentaire du mode de traitement par la chaleur des cossettes qui caractérise le procédé de dessiccation judicieusement pratiqué.

Les jus à 50 degrés Brix provenant des cossettes de Vecchis au sortir de la diffusion sont portés à 80° et reçus dans un malaxeur dans lequel on introduit les réactifs susindiqués savoir 0,25 de chaux et 0,50 % de superphosphate calculés sur le poids de cossettes fraîches initiales.

Le jus trouble est passé sur des filtre-presses. La fluidité du liquide filtré est remarquable. L'épuration produite se traduit par une augmentation de pureté de 3 points pour les betteraves italiennes travaillées à Sanguinetto.

Le jus concentré est soumis à une filtration mécanique et de là va directement à la cuite.

Ainsi on obtient avec ces seules opérations d'épuration pour le jus concentré le même résultat qu'en traitant le jus *dilué* obtenu par le procédé ordinaire, successivement par le chaulage (avec une quantité de chaux dix fois plus grande) par l'acide carbonique qui, après filtration du volumineux précipité obtenu, et une nouvelle carbonatation, une filtration nouvelle puis une sulfitation. Il ne faut pas perdre de vue que dans le cas du jus obtenu par le procédé ordinaire une série de réchauffages sont nécessaires entre ces diverses opérations auxquelles on n'a pas à recourir dans le cas du procédé de Vecchis. La faible quantité de chaux nécessaire et la suppression totale de l'acide carbonique permettent la suppression du four à chaux avec son équipage de pompes et de tuyauteries ainsi que le four à soufre.

Comme on opère ici sur du jus concentré pouvant aller directement à la cuite tout ce qui a trait à l'évaporation est de même supprimé. Nous verrons dans le chapitre suivant à quelles simplifications le procédé de Vecchis permet au total d'arriver. Pour en terminer avec le stade de la fabrication qui nous occupe ici en ce qui concerne l'épuration des jus du procédé de Vecchis nous rapporterons les particularités suivantes :

Les pertes de sucre sont forcément plus réduites que dans le procédé ordinaire du fait du volume beaucoup moindre des tourteaux nécessitant moins d'eaux de lavage à rentrer en fabrication.

On obtient environ 2 % du poids des betteraves initiales en tourteau qui a la composition suivante :

Eau 50 % ; phosphates solubles dans le citrate, évalués en acide phosphorique, 8,44 % ; Azote total 0,55 ; Sucre 4,5.

Comme la totalité de l'acide phosphorique du superphosphate employé se retrouve dans ces tourteaux qui ont de ce fait une valeur égale sensiblement à celle du superphosphate employé on peut compter celui-ci pour mémoire dans le calcul des frais de fabrication.

Cette facilité d'épuration et la filtration extrêmement rapide ne s'observent que si l'opération du séchage avec insolubilisation complète des matières albuminoïdes et pectiques a été correctement pratiquée.

Un contrôle chimique précis permet de s'assurer de la bonne marche de cette opération.

Épuration physique. Application de l'ultrafiltration.

La notion des colloïdes qui se généralise de plus en plus a amené certains chercheurs à étudier l'action d'une filtration capable de séparer les particules très fines présentant le caractère colloïdal.

Nous sommes là dans un domaine qui ne semble pas encore industriel ; cependant l'appareil *Plauson* serait déjà une réalisation industrielle de l'ultrafiltration, suivant Berthold Block, qui fit à son sujet une conférence à Magdebourg en 1921 ; il serait applicable à la filtration des jus sucrés.

L'appareil en question diffère complètement des filtres de Zsigmondy ou autres qui ne sont que des appareils de laboratoire.

L'appareil de *Plauson* consiste en un cylindre en tôle perforée grossièrement sur la surface extérieure duquel sont superposées des plaques ou anneaux finement perforés et comprimés au moyen d'écrous taraudés. Ces plaques sont pourvues de rainures et disposées de telle sorte que les rainures d'une plaque soient à angle droit avec celles d'une autre plaque. Ce dispositif constitue un filtre à pores très fins ; de plus la dimension de ces pores peut être modifiée à volonté en faisant varier la pression qui s'exerce sur les plaques ou anneaux.

L'appareil peut supporter une pression de 300 kilogs par centimètre carré. Un dispositif, formé d'une vis sans fin qui se meut dans l'intérieur permet l'évacuation.

Il convient de signaler comme constituant une possibilité de progrès l'emploi de la force centrifuge dans un champ électrique (Electrocentrifuge Hignette). Les matières colloïdales soumises à une différence de potentiel et en même temps à la centrifugation peuvent se séparer de l'électrolyte dans lequel elles sont en suspension et se précipiter sur la paroi pleine d'une centrifuge.

L'emploi de l'appareil pour le traitement des jus de betteraves permettrait la suppression pour ainsi dire totale de la chaux sauf 0,5 % pour l'action purement chimique de ce réactif (Voir *Journal des Fabricants de sucre*, 22 octobre 1920).

Extraction intégrale des produits solubles de la betterave.

Nous terminerons ce qui a trait à l'épuration des jus sucrés de betteraves en signalant des modes d'utilisation de la plante

sucrière dans laquelle cette épuration est réduite au minimum et pour ainsi dire nulle puisqu'on se propose, au lieu d'éliminer les substances autres que le sucre, de les incorporer au produit obtenu ce qui est logique puisqu'elles ont une valeur alimentaire certaine.

C'est surtout en Allemagne que cette industrie a reçu d'importants développements.

Dans le journal des Fabricants de sucre du 9 juillet 1920 Weisberg fait remarquer que, dès 1894, le chimiste allemand Deyem indiquait l'intérêt qu'il y avait à faire du sucre complet ayant bon goût, par un procédé d'ailleurs mal décrit, employant du carbonate de magnésie avec une quantité de chaux très faible.

Pendant la guerre la fabrication des sirops de betteraves s'est beaucoup développée en Allemagne. La production totale en 1918 atteignit 36.500 tonnes réparties en 315 fabriques, chacune étant en général très petite.

Les sirops obtenus à l'aide de la betterave ont une odeur généralement considérée comme peu agréable, qui tend à en limiter l'emploi et il a fallu les circonstances particulières de ces dernières années pour qu'on s'en serve ; des essais divers ont été effectués pour faire disparaître le mauvais goût.

Les brevets Block, Sherwood, Ort et Willow témoignent de la multiplicité des efforts faits dans ce sens ; ceux-ci ont généralement abouti à préconiser l'emploi d'une température élevée, par le moyen de l'évaporation sous pression élevée ; l'emploi d'acide, en même temps qu'il produit une inversion qui s'oppose à la cristallisation a aussi pour résultat d'améliorer l'arome.

L'emploi des charbons à pouvoir décolorant élevé est très largement pratiqué dans ces fabrications où on attache un grand prix à l'obtention de produits peu colorés. On provoque par addition d'acide l'inversion d'une partie du saccharose, moitié environ afin d'éviter la cristallisation. Le succès de cette industrie est bien entendu favorisé par des dispositions fiscales.

Dans les circonstances actuelles caractérisées par la production d'une abondante quantité de sucre ces procédés ont peu d'intérêt.

CINQUIÈME PARTIE

PRODUCTION DE LA VAPEUR ÉVAPORATION

CHAPITRE PREMIER

PRODUCTION DE LA VAPEUR ET FORCE MOTRICE

Généralités.

L'économie de combustible est un point important dans la fabrication du sucre. Dès 1899 M. J. Ernotte établissait que la consommation de charbon pouvait être abaissée à 75 kilos à la tonne de betteraves alors qu'aujourd'hui encore on arrive à des consommations très supérieures à ce chiffre dans beaucoup d'usines.

Dans une note parue sous le titre *Étude sur les économies de combustible en sucrerie* (Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, Mars 1923). M. E. Caron estime que l'on peut abaisser au-dessous de 50 kilos par tonne de betteraves la quantité de charbon consommé. Il est vrai qu'il s'agit d'usines de très gros tonnage qui seraient largement munies de matériel, et avec des moteurs très modernes et des chaudières à haute pression.

Cependant on trouve encore des usines où la consommation est de 80 à 90 et même 100 kilos et ce dernier chiffre fut admis pour les évaluations de quantités de combustible qui pouvaient se trouver en août 1914 dans les sucreries sinistrées.

On trouve aussi des usines dans lesquelles on se rapproche du chiffre de 60 kilos pour du sucre roux. Bien entendu il s'agit d'un charbon moyen et la qualité du combustible, qui n'est pas toujours indiquée, a des variations qui enlèvent beaucoup de précision aux chiffres donnés.

Influence du mode de fabrication et du régime de travail sur la consommation de vapeur. — Le mode de fabrication employé et la nature du produit obtenu font varier dans une très grande proportion la dépense de combustible. Mais ce qui a aussi une grande influence c'est le régime de production de l'usine au point de vue de l'utilisation du matériel et de la continuité de la fabrication. Dès que l'usine ne travaille pas à plein rendement, l'augmentation de consommation de charbon, par tonne de betteraves ou par sac de sucre est considérable.

Si on représente par 100 la quantité de charbon consommé par tonne de betteraves travaillées dans une usine faisant du sucre roux cette quantité sera environ de 115 pour faire du sucre blanc.

Si on représente par 100 la quantité de charbon consommé par tonne de betteraves dans une usine de 1.000 tonnes par jour travaillant à plein et si, par suite d'une diminution d'approvisionnement cette production vient à être diminuée de 30 %, par exemple, la quantité de charbon consommée sera représentée par 125 et même, si l'irrégularité d'approvisionnement comporte des interruptions dans le travail, cette quantité pourra aller jusqu'à 135 ou 140.

On voit ici, quantitativement exprimée, l'importance pour la sucrerie d'être régulièrement approvisionnée en betteraves, de manière à se trouver toujours dans des conditions de travail intense et continu.

La pratique de la dessiccation des betteraves préalable à l'extraction du sucre comporte une augmentation de la quantité de combustible consommé. Mais il faut noter que la plus grande partie des calories nécessaires, qui sont employées au chauffage des fours et non à la production de vapeur, peut être empruntée à des combustibles bon marché.

Au demeurant, si la diminution de la consommation de combustible en sucrerie a une importance réelle, elle ne domine pas toute l'économie de cette industrie puisque comme nous le verrons plus loin le pourcentage de la dépense de combustible est de 5% par rapport à l'ensemble des dépenses de production du sucre.

Production de la vapeur en sucrerie.

Selon leur mode de construction plus ou moins judicieux les générateurs ont des rendements variant dans de grandes limites. Le rendement d'un générateur est le rapport entre la chaleur cédée à la vapeur produite et la chaleur apportée par le combustible. Le rendement des générateurs varie dans d'assez grandes limites. Les anciens générateurs à bouilleurs semi-tubulaires ont des rende-

ments de 60 % environ. Les générateurs modernes ont des rendements pouvant atteindre 80 %.

On oublie trop souvent, dans la conduite des générateurs, que 1 kilo de charbon de bonne qualité, complètement brûlé c'est-à-

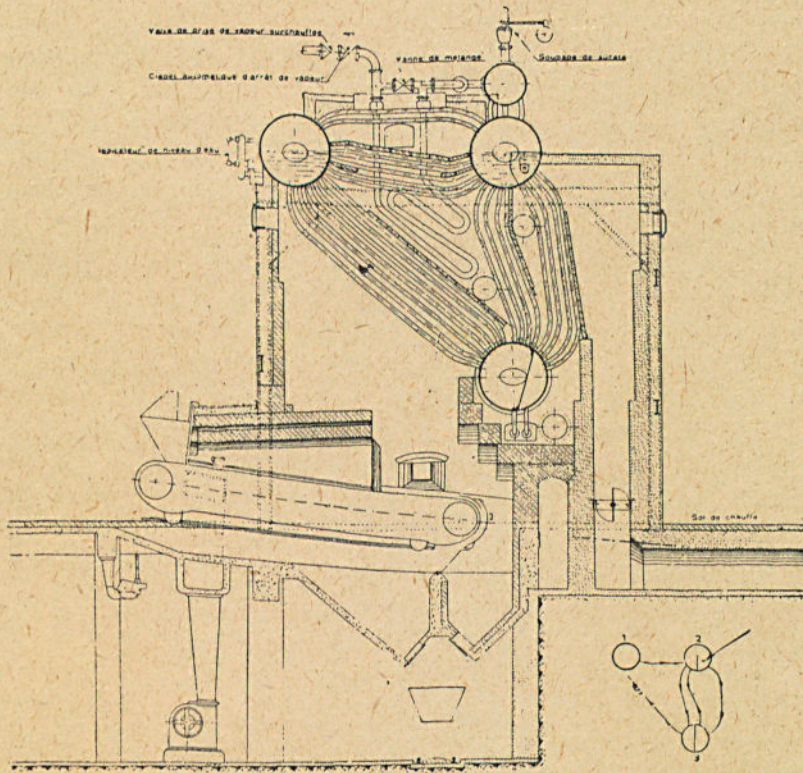


Fig. 92. — Coupe d'une chaudière Stirling à 3 collecteurs.

dire donnant lieu à la transformation complète en acide carbonique produit 8.140 calories tandis que si ce poids de charbon est transformé en oxyde de carbone il ne produit que 2.473 calories.

C'est pour un volume d'air de 7 à 8 m³ par kilo de houille que cette bonne combustion doit être réalisée. Mais toute quantité d'air introduite en plus sous les grilles emporte des calories en quantité extrêmement importante.

Surface de chauffe des générateurs en sucrerie.

On admet que, en général, dans les sucreries la surface de chauffe moyenne des générateurs est de 2, 2 mètres carrés par tonne de betteraves travaillée par 24 heures. Ces chiffres s'appliquent aux types courants de chaudières.

Mais il ne peut être donné de chiffres bien précis sur ce sujet pour des sucreries modernes qui sont munies de chaudières de modèles assez différents, comme sont les divers types de chaudières multitubulaires avec des vaporisations par mètre carré de surface de chauffe très différentes entre elles et très différentes de celles des anciennes chaudières à bouilleurs (fig. 92).

C'est ainsi que la chaudière à bouilleurs vaporise 12 à 15 kilogrammes d'eau par mètre carré et par heure ; les chaudières semi-tubulaires à bouilleurs vaporisent des quantités un peu supérieures, tandis que les chaudières multitubulaires, ou à tubes d'eau, vaporisent presque le double.

D'intéressantes applications ont été récemment réalisées en sucrerie du chauffage au charbon pulvérisé. Sa généralisation ne semble pas prochaine cependant.

Avec des chaudières alimentant des moteurs à haute pression on a des gaz de combustion à température plus élevée dont l'évacuation sans récupération cause une perte importante.

Au lieu d'employer un économiseur il est plus avantageux d'employer un système de compoundage de chaudières, réalisé déjà dans diverses centrales électriques. Il consiste en une chaudière à haute pression munie d'un foyer mécanique soufflé qui marche à allure très vive, laquelle chaudière est suivie d'une chaudière à basse pression.

Les gaz de la chaudière à haute pression, qui sont encore très chauds, passent sous la chaudière à basse-pression. Celle-ci fournit la vapeur pour les chauffages couramment avec la vapeur d'échappement des moteurs.

En fait on ne trouve en sucrerie des économiseurs Green ou autres que très exceptionnellement.

Dans un mémoire paru au Bulletin de l'Association des Chimistes de Sucrerie et de Distillerie, juin 1921, M. Bué signale cependant l'intérêt de tels appareils qui ont pour effet d'abaisser la température du gaz de 280° à 200°.

D'une manière générale le meilleur mode de récupération des calories est de les utiliser à faire de l'évaporation. Or en sucrerie il n'y a pas seulement l'eau des jus à évaporer, il y a aussi celle des pulpes qui sortent des presses, comme nous l'avons vu, à une teneur

de 90 % environ d'eau, qu'il faut transporter et dont la présence dans le produit cause la perte des éléments utiles. Leur dessiccation est une excellente manière de récupérer les calories des gaz qui sortent des générateurs.

Les générateurs de sucrerie sont habituellement groupés en

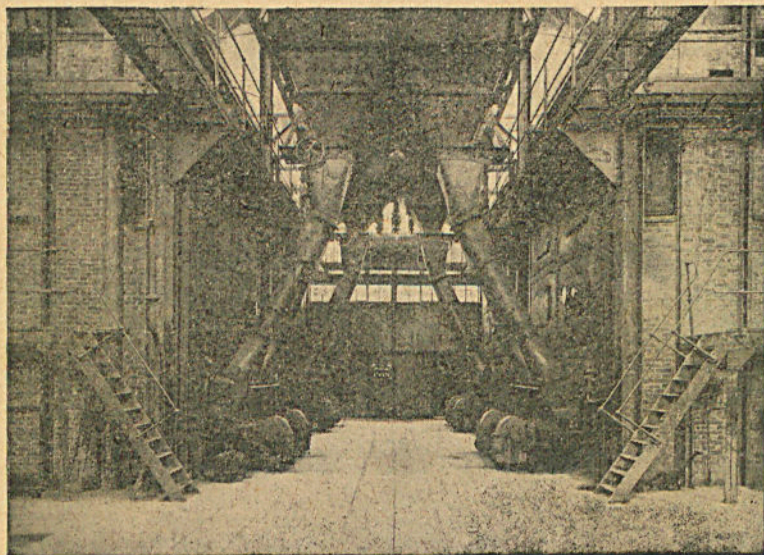


Fig. 93. — Batterie de chaudières à alimentation automatique Stirling (Fives-Lille).

deux batteries, l'une à haute pression, qui alimente les moteurs à vapeur, l'autre à basse pression réservée aux chauffages.

On reproche à l'emploi de batteries scindées d'employer des générateurs à basse pression ne présentant pas un volant de vapeur suffisant pour parer aux « à coups » des prélèvements de vapeur qui se produisent parfois. Mais les variations de pressions sont ici sans importance puisque la vapeur pour les chauffages est détendue avant son emploi.

Cependant le scindement de la batterie, réservant la haute pression aux moteurs, est, pour la régularité de marche de ceux-ci, un sérieux avantage. D'autre part il n'est pas utile d'employer aux chauffages de la vapeur à une température très supérieure à celle à laquelle elle doit être employée.

L'emploi de la vapeur surchauffée, en utilisant pour produire une telle vapeur les gaz allant à la cheminée, n'est habituellement pas pratiqué en sucrerie. C'est plutôt dans l'emploi de générateurs installés dans des conditions telles que les gaz se dégagent à des températures modérées, qu'il faut chercher l'économie, et aussi dans l'emploi d'une batterie à haute pression donnant directement la vapeur convenable pour les moteurs.

L'emploi des chaudières à très hautes pressions semble la solution de l'avenir aussi bien dans la sucrerie que dans les autres industries.

Alimentation des générateurs.

La condition essentielle pour vaporiser économiquement aux générateurs, outre le fonctionnement normal et régulier du chauffage, c'est d'apporter le plus grand soin à l'alimentation exclusive des générateurs avec des eaux aussi chaudes que possible.

L'alimentation des chaudières en totalité avec l'eau de condensation dont on a toujours une quantité suffisante, représente une économie de charbon de près de 15 % sur la quantité qui serait consommée si on ne l'utilisait pas et si on alimentait les générateurs avec de l'eau prise au puits, ayant environ 80° de moins que l'eau de retour moyenne.

Il faut donc veiller à ce que l'alimentation soit bien *totale* et que par suite d'une défaillance dans les pompes alimentaires ou par crainte d'envoyer de l'eau sucrée aux générateurs on ne substitue plus ou moins d'eau froide à l'eau chaude.

Si la possibilité d'alimenter les générateurs avec de l'eau très chaude est une condition fort précieuse au point de vue thermique, par contre le fonctionnement des pompes d'alimentation en est souvent rendu difficile ; la bonne construction de ces appareils et leur entretien en bon état constant sont indispensables.

Toutes les dispositions qui permettent de soulager les pompes alimentaires doivent être employées, par exemple en faisant des retours directs au générateur des eaux condensées dans les appareils.

Les eaux d'alimentation des générateurs doivent faire l'objet d'un examen fréquent au point de vue de leur composition. Elles doivent être sans cesse maintenues légèrement alcalines et ne pas

avoir la réaction acide qui se manifeste lorsque des rentrées de sucre se sont produites dans les retours, par suite de joints défectueux. Les notions récentes sur la détermination du pH trouvent une application tout indiquée à l'alimentation des générateurs.

Il est facile de déceler dans les eaux de retour les moindres traces de sucre par la réaction à l' α naphтол.

Les eaux contenant du sucre renvoyées aux générateurs y causent de graves dégâts, par suite de l'action sur les joints, sans parler de l'attaque des tôles.

L'introduction accidentelle du sucre aux générateurs exige qu'ils soient vidangés aussitôt que possible.

Quoiqu'on n'ait, en général, qu'une très faible quantité d'eau à introduire dans les générateurs et seulement pour compenser les pertes, il n'en est pas moins opportun de n'employer que des eaux qui ne donnent pas lieu à d'importants dépôts calcaires. Lorsqu'on a affaire à des eaux impures elles doivent être épurées comme dans toutes les autres industries.

La force motrice en sucrerie.

En réalité la dépense de vapeur dans les moteurs ne peut être considérée isolément puisque la vapeur d'échappement est habituellement utilisée intégralement dans la sucrerie. Nous avons vu par contre qu'il n'en est pas de même dans la râperie et nous avons fait des observations à ce sujet. Bien entendu, on n'emploie dans les sucreries que des machines sans condenseur.

L'évolution de toute industrie moderne, à laquelle la sucrerie est particulièrement soumise, est caractérisée par le remplacement de plus en plus généralisé de la main-d'œuvre employée aux manœuvres par des engins mécaniques. Et nous avons vu au début du présent ouvrage que les manutentions représentaient une somme d'énergie assez élevée. Par conséquent la force motrice est de plus en plus développée dans les usines modernes.

La puissance mécanique nécessaire est d'ailleurs impossible à déterminer par le calcul et c'est seulement en se basant sur des expériences précédentes qu'on peut établir les projets d'installation.

Dans l'exemple cité par M. Ernotte en 1898, une sucrerie de 325 tonnes exigeait une force de 200 chevaux soit 0,61 cheval par

tonne de betteraves. On compte aujourd'hui une moyenne de près de 1 cheval par tonne travaillée par 24 heures. Pour le calcul ultérieur nous prendrons le chiffre de 0,9.

Ce chiffre s'applique d'ailleurs à des sucreries faisant du sucre blanc; il est sensiblement plus faible pour des usines ne faisant que du sucre roux.

La tendance qui s'est manifestée depuis quelques années a été de réduire considérablement le nombre des moteurs et d'avoir même une seule machine. En général les petites machines consomment plus de vapeur que les grandes par cheval produit. L'emploi des transports de force électrique a accéléré cette évolution.

Une petite usine de 350 tonnes avait en général quatre ou cinq machines de 25 à 30 chevaux et une dizaine de pompes à action directe représentant de 5 à 15 chevaux chacune en moyenne.

Les fabricants ont longtemps professé cette erreur qu'il est inutile de recourir à l'emploi de moteurs aussi économiques que possible en sucrerie, sous prétexte qu'on a toujours employé de la vapeur d'échappement. Cette opinion n'a plus aujourd'hui de défenseurs.

L'emploi des moteurs à haute pression donne des économies qui sont mises en évidence par l'examen des tableaux suivants :

Pression	Consommation de vapeur théorique par Cheval-Vapeur et par heure en kgs			
	Contre-pression en atmosphères.			
	0,5 at.	1. at.	2 at.	3 at.
5 kgs	10	13,6	21,1	36,1
9	8	9,3	12,2	15,8
14	7	7,5	9,1	11
19	6	6,6	7,8	9
24	5,5	5,9	6,9	7,8

En pratique on a naturellement des chiffres sensiblement différents. Si on admet un effet thermo-dynamique de 75%, et en considérant que 100 kilos de vapeur directe donnent 85 kilos de vapeur de retour et en prenant le chiffre de 0,9 cheval par tonne de betteraves travaillées journallement, la puissance économique dépensée par vingt-quatre heures sera de 2.116 chevaux-heures soit 2,16 par 100 kilos de betteraves. Le tableau suivant indique, pour les différents régimes, la quantité de *vapeur disponible pour le travail de cent kilos de betteraves avec des moteurs à divers régimes.*

Pression	Contre-pression			
	0,5 at.	1 at.	2 at.	3 at.
5 kgs	27,5	33	51	88
9	20,2	22,0	29,4	38,6
14	16,5	18,4	22	27,5
19	14,6	10,5	20,2	22
24	12,8	11,5	16,5	18,4

avec la vapeur surchauffée à 400° ces chiffres sont sensiblement augmentés.

Étant donné qu'il faut en moyenne 30 à 50 kilos de vapeur de retour pour effectuer l'évaporation et les chauffages pour 100 kilos de betteraves travaillées, on voit que même avec les machines à 5 kilos, comme il y en a encore beaucoup dans les sucreries, pour une contre-pression ne dépassant pas l'atmosphère, avec des appareils d'évaporation marchant sous vide, il n'y a pas d'excédent de vapeur. Il en est ainsi du moins en marche normale hors le cas d'irrégularités, d'ailleurs fréquentes, dans la consommation de vapeur aux appareils d'évaporation, et surtout de cuite.

Certains constructeurs préconisent, pour parer à ces irrégularités, l'accumulateur de vapeur. Un tel appareil est formé par une chaudière remplie aux 9/10 d'eau chaude, dans laquelle on peut emmagasiner sous une pression constante, de la vapeur produite en excédent et dont la vapeur accumulée peut être retirée en provoquant une diminution de pression.

L'accumulateur de vapeur peut être appliqué aussi bien aux vapeurs directes qu'aux vapeurs de retour.

Quand on dispose dans les sucreries de deux batteries de générateurs on peut diriger l'excédent de vapeur de la batterie à haute pression sur les générateurs à basse pression, à l'aide de soupapes régulatrices. Les chaudières à basse pression servent ainsi d'accumulateurs de vapeurs pour les chaudières à haute pression. Il est possible, grâce à ce dispositif, de ne donner aux chaudières à basse pression, qu'une surface de chauffe correspondante à la dépense moyenne, et non à la dépense la plus élevée.

On peut enfin installer un accumulateur de vapeur proprement dit pour la vapeur des chaudières à basse pression.

Il ne faut pas perdre de vue qu'à l'économie de vapeur dans les moteurs du fait de l'augmentation de pression correspond une économie du fait de la moindre condensation dans les conduites. Celles-ci plus réduites, sont d'ailleurs moins coûteuses à installer et peuvent être calorifugées plus soigneusement.

La tendance moderne est d'installer les sucreries avec des turbo-moteurs actionnant des alternateurs triphasés envoyant le courant aux dynamos qui font fonctionner la plupart, sinon tous les appareils de l'usine.

L'électrification comporte de sérieux avantages : suppression de nombreuses courroies, économie de graissage, et facilité d'emploi de pompes rotatives.

On maintient souvent une machine spéciale, machine à piston ou turbo-moteur, pour la pompe à gaz et pour la pompe à air dont nous parlerons plus loin.

Les turbo-moteurs ne dépendent pas sensiblement moins de vapeur par kilowatt d'énergie produite que les machines à piston. Cependant ces dernières consomment plus de calories. La radiation calorifique est en effet plus considérable ; d'autre part les frottements dans la machine à piston sont de l'énergie consommée en pure perte. Dans le turbo-moteur le frottement est très réduit et d'ailleurs la chaleur engendrée par le frottement du rotor sur la vapeur est récupérée dans la vapeur de retour.

Le prix d'achat des turbines est d'ailleurs moindre que celui des machines à vapeur ordinaires.

La vapeur d'échappement du turbo-moteur étant plus fortement surchauffée et plus sèche que celle de la machine à piston, il en résulte de moindres pertes par condensation, jusqu'au point d'utilisation de cette vapeur.

Bien entendu l'emploi des turbo-moteurs entraîne l'utilisation à l'évaporation, d'une vapeur à température plus élevée.

En pratique, la quantité de vapeur consommée par cheval-heure est très variable suivant le moteur utilisé. Il n'y a pas seulement à considérer d'ailleurs à ce point de vue le type de machine et son mode de construction, mais encore son réglage et son état d'entretien.

Avec les machines qu'on trouve en général dans les sucreries, on peut, pour la comparaison des divers modes d'utilisation de la vapeur, admettre une consommation variant entre 12 et 15 kilos de vapeur par cheval-heure et pour de bonnes installations on peut prendre le chiffre moyen de 13 kilos.

Si on prend comme consommation, largement comptée comme il convient, le chiffre de 15 kilos de vapeur par cheval-heure, on

trouve par tonne de betteraves travaillées comme chiffre de consommation de vapeur $15 \times 24 \times 0,9 = 324$ kilos de vapeur, donnant 275 kilos de vapeur d'échappement.

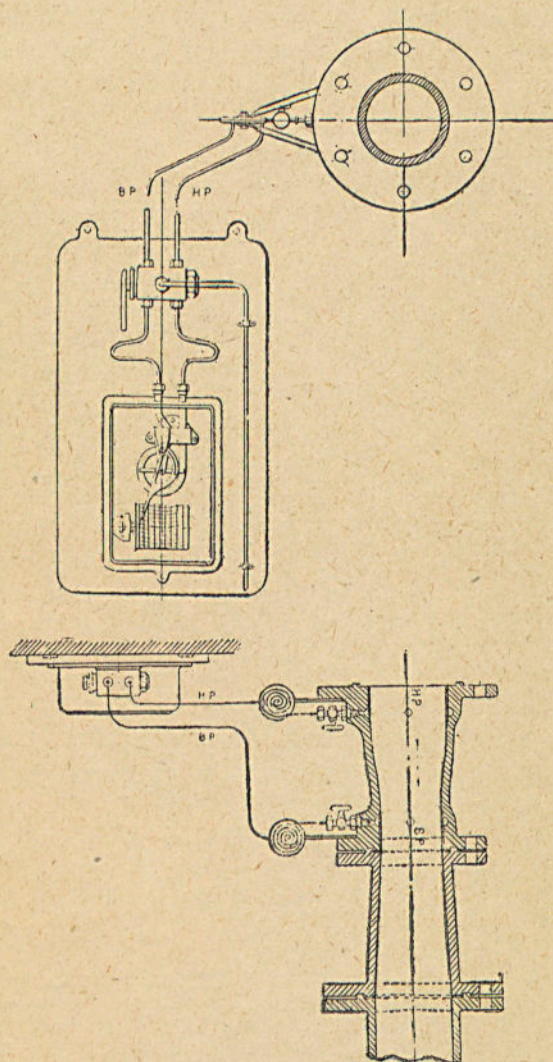


Fig. 94. — Enregistreur de débit de vapeur. Système Piette.

On peut, dans une installation moderne, envisager l'emploi de moteurs ne dépensant que 12 kilos de vapeur par cheval-heure

ce qui abaisserait à 259 kilos le poids de vapeur à fournir à la tonne de betteraves.

Avec les grandes puissances (1.000 kw) et une pression de 14 kilos la consommation peut même descendre à 111 kilos environ ce qui donne environ 235 kilos à fournir par tonne et 200 de vapeur d'échappement.

Calorifuges.

La perte de calorique par rayonnement est toujours importante dans la sucrerie, aussi la question des calorifuges ne saurait trop retenir l'attention du fabricant de sucre.

Convenablement protégés les appareils donnent lieu à des condensations qui doivent être de l'ordre de 0 k, 5 à 1 k par mètre carré heure de surface de chauffe suivant la vapeur considérée. Une mauvaise protection s'accompagne de condensations deux à trois fois plus importantes.

Il n'y a aucune partie de l'installation comportant une circulation de vapeur qui ne doive faire l'objet d'une protection sérieuse ; il n'y a pas de dépense dans cet ordre d'idées qui doit être ménagée. Malheureusement dans nombre de sucreries ce principe est assez couramment méconnu. Ajoutons que le séjour du personnel est rendu moins pénible au voisinage d'appareils bien protégés.

Notons enfin qu'il faut, pour réduire au minimum les pertes de calorique par refroidissement, ne pas limiter comme on le fait parfois aux récipients et conduites à vapeur directe l'emploi de calorifuge, mais encore l'étendre à tous les appareils où circule la vapeur d'échappement et les eaux chaudes de retour et aux appareils à cuire eux-mêmes.

Compteurs de vapeur.

L'emploi des compteurs de vapeur permettrait dans un grand nombre de cas de faire des mesures très précises relativement aux consommations de vapeur et de multiplier ainsi les essais. De plus ces appareils, qui au total sont aussi simples qu'un manomètre ou un ampèremètre, permettraient de faire des contrôles relativement

à la consommation de vapeur qui, en dehors de la régularité du travail qu'elles assureraient, amèneraient dans la plupart des cas à de sérieuses économies de vapeur qui rembourseraient rapidement leur dépense d'installation.

On emploie peu ces appareils en France, alors qu'en Angleterre et aux Etats-Unis on en fait un usage assez étendu, sinon en sucrerie

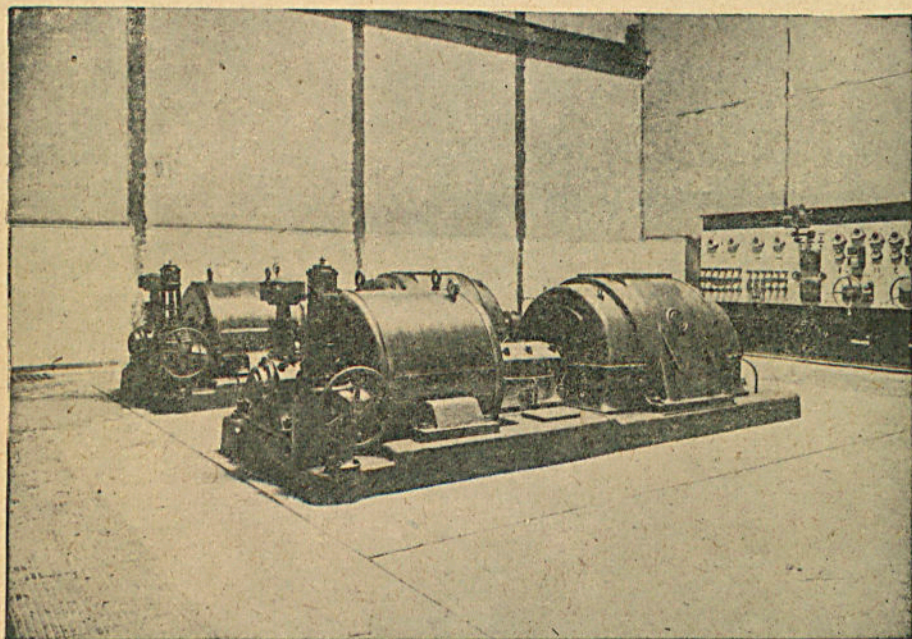


Fig. 95. — Groupe électrogène (Fives-Lille).

du moins dans d'autres industries où leur usage n'est ni plus ni moins indiqué.

Parmi les divers principes sur lesquels repose la construction des compteurs à vapeur c'est à l'emploi du tube de Venturi qu'ont recours les appareils qui, à l'heure actuelle, sont les plus pratiques. Il est établi que ses propriétés déjà vérifiées pour l'air s'appliquent à la vapeur.

Le tube de Venturi détermine entre deux tubulures une différence de pression qui peut être traduite directement en débit, au

moyen d'un manomètre différentiel spécialement construit dans ce but.

Parmi les nombreux appareils existant à ce jour nous pouvons citer, en raison de sa simplicité de construction et de sa facilité d'emploi l'indicateur de débit enregistreur système *Piette* (Chaleur et industrie octobre 1922, p. 1.705) (fig. 94).

L'organe essentiel de cet appareil est un tube métallique en U contenant du mercure et dont les deux branches communiquent respectivement avec les deux prises de pression du tube de Venturi. Les dénivellations du mercure sont transmises au dehors au moyen d'un dispositif magnétique. A cet effet, sur chaque extrémité de la colonne de mercure flotte une bille de fer. Un aimant placé à l'extérieur du tube est monté sur un pivot très sensible ; il ferme son circuit magnétique par les billes. L'aiguille indicatrice, fixée à l'aimant parcourt un cadran qui peut être gradué directement en kilogrammes par heure pour une pression type. Il est facile d'établir une correction pour des pressions différentes en tenant compte du poids spécifique de la vapeur d'après la table de Zeuner.

Cet appareil s'établit en équipement transportable en remplaçant le Venturi par des diaphragmes convenablement calculés. Il s'emploie pour des pressions égales ou supérieures à la pression atmosphérique.

Electrification des Usines.

L'emploi du courant électrique produit en dehors de la sucrerie par une centrale électrique actionnée par des moteurs à vapeur n'est pas à envisager en sucrerie, puisque la sucrerie produit avantageusement elle-même la force motrice dans des moteurs à vapeur dont elle peut toujours utiliser la vapeur d'échappement. C'est plutôt l'inverse qui serait à réaliser, c'est-à-dire la livraison de courant à un réseau pour utiliser les machines à vapeur en dehors de la campagne ; c'est là toutefois une solution de l'utilisation du matériel qui ne semble pas devoir être possible d'une manière générale.

Nous citerons cependant le cas de la raffinerie de Nestomitz, en Tchéco-Slovaquie, qui vend l'excédent d'énergie qu'elle produit à une centrale voisine.

C'est en général au courant alternatif triphasé qu'on a recours dans les sucreries en raison des avantages suivants qu'il présente par rapport au courant continu : possibilité de l'obtention des tensions élevées et leur facile transformation par des appareils statiques, transport économique de l'énergie sous forme de haute tension ; robustesse des moteurs. L'inconvénient que l'on peut reprocher aux moteurs à courant alternatif, la difficulté de faire varier leur vitesse, est habituellement sans importance en sucrerie, car les appareils ont toujours une vitesse constante.

Si le courant alternatif triphasé rallie pour ainsi dire l'unanimité des suffrages, il n'en est pas de même en ce qui concerne la tension sous laquelle on l'emploie.

Certains constructeurs préconisent l'emploi de la haute tension en raison de son économie. Comme les alternateurs qui produisent le courant sont habituellement à haute tension, l'emploi de celle-ci comme tension de service permet d'alimenter les moteurs directement, évitant ainsi les pertes de transformation ; mais l'installation de chaque moteur se complique. Sans compter le danger incontestable qu'on a trop souvent tendance à méconnaître, malgré la fréquence des accidents. D'ailleurs les moteurs d'une puissance inférieure à 50 kw . ne se font pas couramment.

Comme d'autre part la basse tension nécessite un poste de transformation dans la salle des machines et des dépenses importantes de câbles, on a généralement recours, surtout pour les usines importantes, à une solution mixte. Un certain nombre de gros moteurs sont alimentés avec de la haute tension ; d'autre part un certain nombre de transformateurs, variable suivant l'importance de l'usine, sont installés, d'où partent des câbles à basse tension qui alimentent chacun un groupe de moteurs, avec 110 ou 220 volts. En tous cas l'éclairage ne doit jamais dépasser 110 volts.

La sucrerie semble appelée à subir une évolution au cours de laquelle elle sera amenée à faire appel à de l'énergie produite en dehors de la vapeur. Les procédés de dessiccation des cossettes peuvent être appliqués en empruntant à un secteur électrique l'énergie nécessaire au fonctionnement des fours à dessécher les cossettes, ou bien encore à des moteurs à gaz pauvre.

Le cas est, dans une certaine mesure, analogue pour les râperies qui n'ont l'utilisation que d'une faible quantité de vapeur ; aussi y a-t'il place dans ces usines pour des moteurs à gaz pauvre.

CHAPITRE II

ÉVAPORATION DES JUS SUCRÉS

Généralités. — Importance de l'évaporation.

Les jus sucrés sortant des filtres augmentés des eaux de lavage ont habituellement 12 à 13 degrés Brix. Pour qu'on puisse par cristallisation en extraire le sucre, il faut les amener à l'état de solution sursaturée.

Mais la production de sirop sursaturé se fait en deux phases.

L'évaporation proprement dite amène le jus du degré Brix ci-dessus indiqué à 62° Brix environ soit 33° Baumé.

Cette opération se fait dans l'appareil à évaporer, qui est construit suivant des modalités assez diverses dont l'étude sera faite plus loin.

La cuite est une évaporation complémentaire ; elle se fait dans l'appareil à cuire, qui est disposé en vue surtout de la formation d'une *masse-cuite*, mélange de sirop sursaturé et de cristaux.

L'expérience a déterminé à quel degré de concentration il convenait d'amener le sirop dans l'appareil à évaporer pour l'introduire dans l'appareil à cuire où il sera transformé en masse cuite.

Quantité d'eau à évaporer.

Si on extrait de 100 kilos de betteraves 100 à 115 kilos de jus et qu'on y introduise par l'eau accompagnant le lait de chaux, par l'eau de lavage des écumes, 8 à 15 % d'eau suivant les conditions du travail, on a de 108 à 130 kilos de jus à évaporer. Nous admettrons 125 comme chiffre moyen ; c'est en effet celui qui correspond au travail courant dans une usine où on pratique la défécation humide.

Si nous avons un jus de densité d à amener à l'état de sirop de densité D le poids d'eau à évaporer pour 1 hectolitre de jus sera :

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

Si nous voulons évaporer l'eau en partant d'un jus d'une densité moyenne de 1,050 pour l'amener à l'état de sirop à 1300 il faudra évaporer

$$\frac{100 (1,300 - 1,050)}{1,300 - 100} = 83,3\%$$

Pour amener ces 125 kilos de jus à l'état de sirop apte à être introduit dans la cuite il faut enlever de l'eau jusqu'à les ramener à 25 kilos donc enlever $125 - 25 = 100$ kilos. On peut donc dire qu'il faut demander à l'évaporation d'enlever un poids d'eau égal au poids de betteraves travaillées.

Disons de suite que dans l'appareil à cuire il faudra encore enlever une quantité d'eau que nous calculerons approximativement ainsi :

La matière sèche contenue dans les 125 kilos de jus à traiter pour 100 kilos de betteraves est de 15 kilos.

La masse cuite qu'on devra produire dans l'appareil à cuire aura environ 7 % d'eau.

Son poids sera donc de

$$\frac{15 \times 100}{100 - 7} = 16,1$$

Il faudra alors enlever au sirop dans l'appareil à cuire :

$$25 - 16,1 = 8,9 \text{ kg d'eau}$$

C'est encore une nouvelle quantité d'eau à évaporer qui s'ajoute aux 100 kilos d'eau par 100 kilos de betteraves soit environ 109 kilos au total.

La quantité d'eau que doit enlever l'appareil à évaporer est un peu diminuée quand on a recours à l'emploi de chaux en poudre au lieu de lait de chaux. Des procédés perfectionnés de diffusion la diminuent sensiblement par suite de soutirages moindres. Mais par contre il est fréquent qu'une mauvaise marche à la diffusion ou l'emploi d'un plus grand volume d'eau au lavage des écumes l'augmente momentanément. On voit donc combien est important ce travail d'évaporation et l'intérêt que présente l'emploi de bons appareils à évaporer c'est-à-dire de construction rationnelle et maintenus sans cesse en bon état de fonctionnement. Le prix

élevé du combustible donne à cette question une importance primordiale et de plus en plus grande.

Chaque filtration constitue une épuration dont les conceptions modernes sur le rôle des colloïdes montrent l'importance. On doit donc filtrer plusieurs fois, donc réchauffer plusieurs fois, et il convient de pratiquer toujours cette opération économiquement. Nous verrons comment on y arrive avec les chauffages combinés. Pour bien comprendre l'état actuel du problème il nous semble utile d'en suivre les diverses étapes au cours du développement de l'industrie sucrière.

Aperçu historique. — C'est seulement par l'emploi des appareils à vide qu'on a pu évaporer économiquement les grandes quantités d'eau dans lesquelles se trouve dilué le sucre dans les jus extraits de la betterave.

L'appareil de Howard, premier appareil à chauffage par le vide, date de 1812. La chaudière employée est à double fond, et entre les deux fonds circule la vapeur. Les vapeurs qui se dégagent du jus étaient enlevées par une pompe à air. Sur le trajet du tuyau faisant communiquer la chaudière avec la pompe était intercalé un condenseur dans lequel on faisait arriver de l'eau froide.

La pompe à air à cette époque était d'une construction difficile ; son emploi donnant des mécomptes on voit apparaître un appareil (Roth) dans lequel la vapeur sert non seulement à produire le chauffage du jus mais encore à produire le vide par condensation suivant le principe de la paroi froide. La consommation de charbon était plus grande que dans l'appareil Howard.

Enfin une nouvelle étape dans le progrès de l'évaporation dans le vide est constituée par l'appareil muni d'un condenseur barométrique (Trappe et Souvoir Gaspard). L'eau condensée est conduite dans un tuyau de 10 m, 33 plongeant dans une citerne ; une pompe enlève les gaz qui ne peuvent être condensés. Bien entendu la pompe ne faisant pas le vide absolu, l'élévation de l'eau dans le tube est inférieure à 10 m, 33. C'était là un gros progrès puisque l'emploi du condenseur barométrique permet d'utiliser une pompe qui ne reçoit pas d'eau chaude, ce qui évite une dépression grâce à laquelle se déposent des substances solides qui s'incrustent dans ses organes.

Mais le progrès essentiel de l'évaporation, qui devait permettre la production de sucre à un prix plus bas, fut réalisé par l'emploi des effets multiples.

Il semble que c'est en 1829 que fut émise pour la première fois par Pecqueur l'idée d'utiliser les vapeurs qui se dégagent du jus pendant son évaporation pour déterminer l'évaporation d'une nouvelle quantité de liquide. La réalisation par son auteur de cette idée, plus tard si féconde, ne fut pas tout d'abord heureuse.

En 1830 Rillieux réalise un appareil à triple effet fonctionnant bien. Méconnu en Europe, c'est en Amérique, en Louisiane son pays d'origine, que Rillieux put voir son appareil faire l'objet d'installations qui dès le début donnèrent de bons résultats.

C'est seulement vingt ans plus tard que le triple effet fut réalisé en Europe, en Allemagne d'abord puis en France sous forme d'appareils plus ou moins défectueux, construits suivant des plans envoyés d'Amérique. Vraisemblablement incomplets et calqués par un Allemand qui les livra à un constructeur de son pays, Tischblin. Les appareils à triple effet n'acquiescent leur degré de perfectionnement pour ainsi dire définitif en Europe que vers 1869.

Principe du multiple effet. — Si dans une première chaudière chauffée à la vapeur, par un système quelconque on introduit un jus qu'on veut faire bouillir,

sa température d'ébullition étant de 101° par exemple, pour amener ce jus à l'ébullition il faut introduire dans le double fond de la vapeur à une température sensiblement supérieure à 101° . La vapeur qui se dégagera du jus aura 100° . Si on fait arriver la vapeur dégagée de cette chaudière dans le double fond d'une chaudière semblable, n^o 2, contenant aussi du jus sucré, cette vapeur se condensera sur la paroi du double fond et cédera sa chaleur au jus. Pour que ce jus puisse bouillir il faut faire le vide au-dessus, de manière à abaisser son point d'ébullition. Alors la vapeur ainsi produite peut être conduite dans le double fond d'une chaudière n^o 3 contenant de même du jus. Si on fait un vide suffisant au-dessus de cette chaudière, le point d'ébullition étant abaissé l'évaporation pourra se

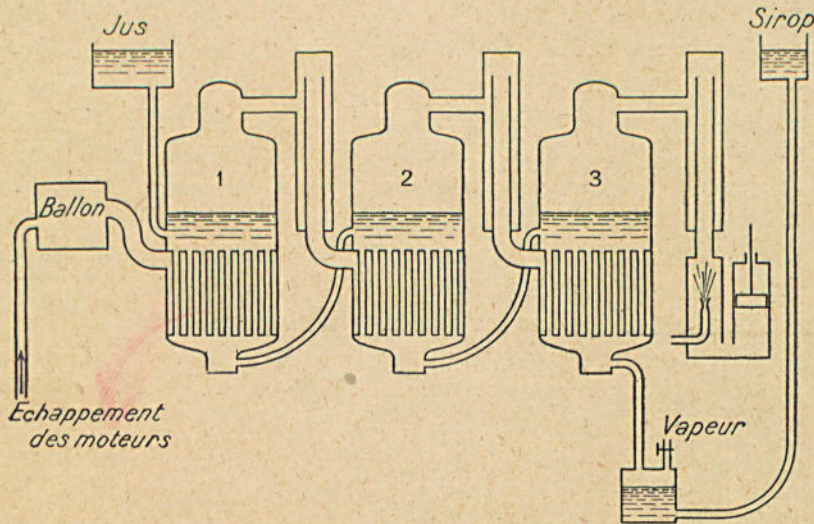


Fig. 96. — Schéma de l'appareil à évaporer à triple effet.

produire également dans cette chaudière. Théoriquement du moins, on peut multiplier le nombre des *effets* c'est-à-dire ajouter autant qu'on veut de chaudières. On met en communication la dernière chaudière avec de l'eau froide (condenseur). La température d'ébullition va en augmentant de la dernière à la première caisse ; ~~la pression au contraire suit une variation inverse~~. En pratique on doit limiter à quelques unités le nombre des effets. Le triple effet et le quadruple effet sont les solutions les plus courantes. Seule la première caisse reçoit de la vapeur produite dans un générateur à vapeur (que cette vapeur soit prélevée sur le générateur — *vapeur directe* — ou qu'elle ait préalablement actionné les moteurs à vapeurs — *vapeur détendue*) — les autres sont chauffées chacune par la vapeur provenant de l'évaporation du jus de la caisse précédente.

En principe le vide est produit par la condensation de la vapeur de la dernière caisse au contact de l'eau froide injectée dans le condenseur. En pratique, comme les jus sucrés contiennent des gaz qui se dégagent pendant l'évaporation et ne sont point condensables, l'adjonction d'une pompe est indispensable.

Principes généraux de l'Évaporation.

L'évaporation est le passage d'un corps de l'état liquide à l'état de vapeur.

L'évaporation se produit à toute température à la surface d'un liquide ; la quantité de vapeur produite en un temps donné par unité de surface est proportionnelle à la température.

L'ébullition est la production de vapeur dans toute la masse du liquide.

Un même liquide bout à la même température lorsque la pression est constante.

La température d'ébullition s'élève lorsque la pression augmente et, inversement, s'abaisse lorsque la pression diminue.

Pour l'eau pure les *Tables de Regnauld* indiquent la température d'ébullition à différentes pressions.

Nous en donnons ci-dessous un résumé suffisant pour la pratique industrielle.

Pression en atmosphères	Température d'ébullition en degrés centigrades.
0,1	45
0,2	59
0,3	68
0,4	75
0,5	80
0,6	85
0,7	89
0,8	93
0,9	96
1	100
1,1	101
1,2	104
1,3	106
1,4	108
1,5	110
2	120
3	133
4	144
5	152
10	180

La notion fondamentale du problème de l'évaporation par ébullition, la seule que nous ayons à considérer ici, est celle de la *chaleur de vaporisation*, c'est-à-dire le nombre de calories nécessaires à l'évaporation de 1 kilog d'eau. (La calorie est la quantité de chaleur, prise pour unité, nécessaire pour élever la température de 1 kilog d'eau de 1°).

La chaleur de vaporisation de l'eau s'exprime en calories par la formule suivante :

$$\lambda = 606,5 + 0,305 t.$$

t étant la température d'ébullition, laquelle dépend de la pression, comme on l'a vu précédemment.

La chaleur de vaporisation est la somme de deux quantités de chaleur.

1° La *chaleur d'échauffement* nécessaire pour porter le liquide à évaporer de 0° à la température d'ébullition ;

2° La *chaleur latente de vaporisation* nécessaire pour transformer le liquide bouillant en vapeur à la même température.

La chaleur latente de vaporisation est donc égale à la chaleur totale diminuée de la chaleur d'échauffement.

Principes de la transmission de la chaleur dans les appareils à évaporer.

Une paroi en laiton de 1 mm d'épaisseur transmet par mètre carré et par degré de différence de température 69.000 calories ; cette transmission de calorique correspond à une condensation de 100 kilogs de vapeur environ. Or en pratique, dans les conditions les meilleures d'une évaporation industrielle, on arrive au chiffre de 4 kilogs qui descend bien souvent à 1,5. On peut a priori s'étonner de ce médiocre rendement et il convient d'en rechercher les causes.

Tout d'abord pour que le liquide à chauffer puisse absorber la quantité de chaleur totale que la paroi métallique est capable de transmettre, il faut que ce liquide soit renouvelé sans cesse au contact de cette paroi ; et Pécelet a établi que pour réaliser cette condition le contact doit être renouvelé 1.600 fois par seconde. Ce sont là des conditions impossibles à réaliser dans la pratique.

La surface du métal n'est pas, pratiquement, en contact avec la vapeur. Le métal se recouvre en effet sans cesse d'incrustations plus ou moins abondantes mais toujours sensibles. Du côté du métal qui est en contact avec la vapeur il se forme une couche d'oxyde de cuivre, si ce métal est du cuivre ou un alliage de cuivre. Or la conductibilité du cuivre est 69 tandis que celle de l'oxyde de cuivre est 1,75 ce qui veut dire que l'obstacle à la transmission de la

chaleur opposé par la couche d'oxyde est environ 40 fois plus grand que celui opposé par une même épaisseur de métal ; une couche d'oxyde de $\frac{1}{20}$ de millimètre donne une résistance à la transmission égale à celle d'une paroi de deux millimètres d'épaisseur. Si donc un tube a deux millimètres d'épaisseur la couche normale de dépôt d'oxyde de cuivre double en réalité sa résistance à la transmission de la chaleur. Mais les incrustations calcaires qui se produisent sur la paroi métallique en contact avec le jus sont inévitables et toujours importantes en marche normale. Leur conductibilité est, de même que pour l'oxyde de cuivre, environ 40 fois moindre que celle du métal ; si les incrustations sont siliceuses cette conductibilité est encore diminuée, très fortement, car les silicates ont une conductibilité environ moitié moindre que celle du calcaire ou de l'oxyde.

Ainsi donc, en fait, la paroi métallique a une conductibilité qui, en raison d'incrustations inévitables, est, dans les meilleures conditions de marche pratique, réduite au cinquième de sa valeur théorique. Si on laissait les incrustations calcaires atteindre une grande épaisseur la transmission de chaleur deviendrait bientôt à peu près nulle. Cette considération montre que, en pratique, la conductibilité propre du métal est peu importante et explique qu'on substitue de plus en plus le fer au laiton dans les chauffages. Cependant l'emploi du cuivre et de ses alliages conserve son intérêt parce que l'usure par action chimique et la coloration du sucre sont moindres.

De plus la vapeur cède sa chaleur à la paroi métallique en s'y condensant. Or ce n'est pas là un phénomène simple. Lorsque la vapeur se condense elle laisse une couche d'eau au contact de la paroi qui, par suite de la capillarité, ne s'écoule que lentement. Des mesures faciles à effectuer montrent que l'épaisseur d'eau sur la paroi est de deux dixièmes de millimètres. C'est donc non pas sur une paroi de métal mais sur une couche liquide que la condensation s'effectue. Et l'eau est mauvaise conductrice de la chaleur (162 fois moins que le laiton).

Il est donc d'importance capitale que la couche d'eau mouillant la paroi soit aussi faible que possible. L'entraînement de graisse par la vapeur de chauffage, qui tend à s'opposer au facile mouillage de la paroi, doit soigneusement être évité et toutes dispositions

doivent être prises dans la construction des appareils pour que la purge soit facile (surfaces lisses, marche descendante de la vapeur pour qu'elle ne s'oppose pas à l'écoulement de l'eau sous l'action de la pesanteur). Ces considérations font comprendre que les détails de construction ont une importance considérable et qu'il ne

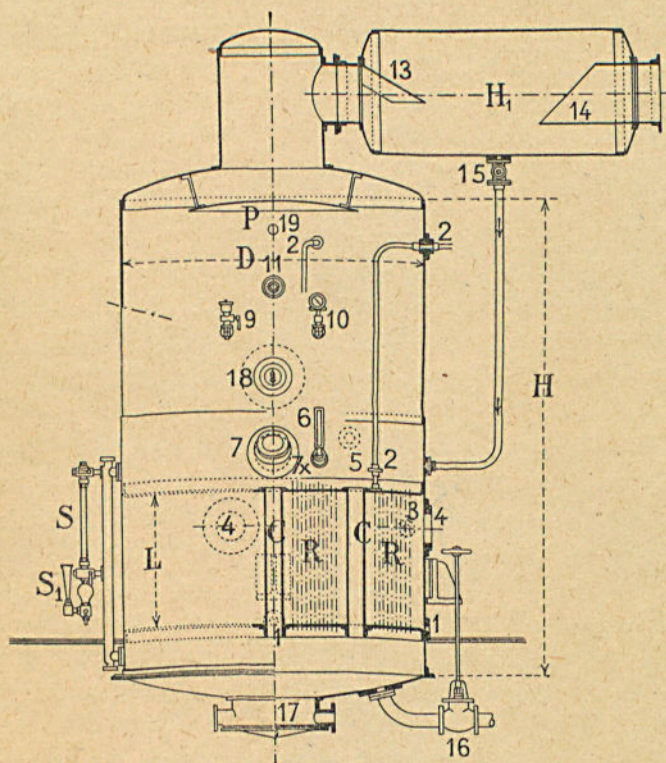


Fig. 97. — Caisse d'évaporation.

suffit pas, pour qu'un appareil fonctionne bien, que ses dimensions générales soient bien calculées. D'autre part il est nécessaire que la puissance de production de l'appareil soit assez largement calculée pour faire face aux irrégularités inévitables de la marche, du fait de production inégales de jus dans l'unité de temps, entraînant la nécessité à un moment donné de réaliser une évaporation supérieure à la moyenne.

Etude des appareils à évaporer.

Quoique l'appareil primitif de Rillieux soit à caisses horizontales, c'est sous la forme d'appareils verticaux qu'on a généralement appliqué l'évaporation à effet multiple en France, les premiers appareils ayant été faits comme nous l'avons dit, par la Société Cail. En Allemagne et en Autriche-Hongrie les appareils horizontaux ont été davantage en faveur.

Une différence essentielle distingue les appareils horizontaux des appareils verticaux. Le jus est à l'extérieur des tubes dans les appareils horizontaux et la vapeur circule dans les dits tubes.

C'est en somme la disposition de la chaudière de locomotive.

La disposition est inverse dans les appareils verticaux. Au point de vue théorique les deux dispositifs se valent. En fait les appareils verticaux sont d'entretien plus facile.

Caisses verticales ordinaires.

L'appareil d'évaporation le plus communément employé en France, se compose d'éléments, en nombre égal au nombre d'*effets*, constitués chacun par une chaudière cylindrique verticale ou caisse d'évaporation dont voici la description sommaire.

La partie cylindrique est formée de deux parties : 1^o la partie inférieure ou *corps tubulaire* en fonte ou en tôle renferme les tubes de laiton dans lesquels le jus circule. Les tubes verticaux sont fixés dans deux plaques tubulaires, en bronze, dans chacune desquelles sont fixés les tubes. Des boulons formant entretoises fixent solidement entre elles ces plaques. Au centre est un large tube dans lequel circule également le jus, mais de haut en bas, tandis qu'il circule de bas en haut dans les autres tubes. La vapeur circule dans l'espace intertubulaire, limité en haut et en bas par les plaques tubulaires et latéralement par le corps même de la chaudière. Le fond du corps tubulaire est formé par une plaque de fonte portant un trou d'homme. La partie comprise entre la plaque tubulaire et le fond est occupée par du jus.

Le corps tubulaire porte une tubulure latérale servant à l'admission de la vapeur et à sa partie inférieure une tubulure servant à la purge, c'est-à-dire à l'évacuation de l'eau de condensation.

Les tubes des appareils d'évaporation ne sont pas nécessairement les mêmes pour toutes les caisses d'un même appareil ; les tubes des derniers corps sont parfois de plus grand diamètre que les tubes des premiers corps.

2° Au dessus du corps tubulaire est la *calandre* constituée par

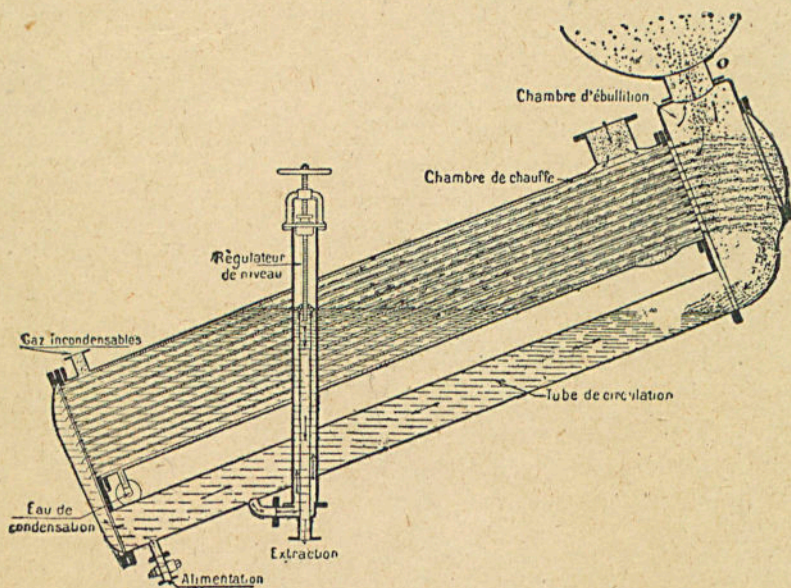


Fig. 98. — Schéma d'un évaporateur à circulation thermique Prache et Bouillon.

un cylindre de fonte ou de tôle terminé en haut par la coupole en forme de calotte sphérique.

Le fond du corps tubulaire est muni d'un tubulure à laquelle est fixée une conduite qui communique avec l'appareil suivant et sert à y évacuer le jus qui a subi la concentration convenable.

Caisse Prache et Bouillon. — Cet appareil désigné par ses constructeurs sous le nom d'évaporateur à circulation thermique est une caisse inclinée à environ 22° sur l'horizontale, renfermant un faisceau tubulaire. Le liquide circule à l'intérieur des tubes et la vapeur de chauffage circule à l'extérieur. La circulation du liquide se fait de bas en haut et la vapeur au contraire circule de

haut en bas. A l'extrémité inférieure est une boîte à liquide et à l'extrémité supérieure une boîte séparatrice de liquide et de vapeur. Ces deux boîtes qui sont en communication par l'intérieur des tubes de chauffe sont reliées extérieurement par un ou plusieurs tubes de circulation non chauffés.

Sous l'action de l'ébullition l'eau vaporisée dans le sein du liquide en ébullition et le liquide lui-même sont projetés à la partie supérieure des tubes et viennent frapper normalement la paroi plane de la boîte séparatrice de liquide et de vapeur. La vapeur est évacuée à la partie supérieure tandis que le liquide retombe dans les tubes de circulation et se présente à nouveau à l'évaporation devant les tubes de chauffe.

Il y a à cette disposition, selon ses auteurs, deux avantages :
1° un entraînement par la vapeur du liquide évaporé par suite du choc sur la surface plane d'abattage des mousses.

2° La quantité de jus contenue dans la caisse est automatiquement réglée par un régulateur de niveau.

Appareils à ruissellement.

Les conditions essentielles permettant de réaliser une évaporation rapide d'un liquide en contact avec une paroi chaude sont : 1° une active circulation et 2° une mince épaisseur du liquide à évaporer. Lorsqu'il s'agit de liquides altérables la rapide évaporation présente l'intérêt capital de réaliser un contact pendant un temps très réduit d'une même particule de liquide et ainsi de permettre l'emploi d'une température élevée.

Les appareils dans lesquels on réalise d'une manière particulièrement caractérisée ces conditions essentielles sont appelés *appareils à ruissellement*, parce qu'en effet on fait ruisseler le liquide sur la surface de chauffe; Horsin Déon fait judicieusement remarquer qu'on devrait plutôt les appeler *appareils évaporant en mince épaisseur*.

Comme il arrive toujours dans la technique industrielle, l'idée qui a reçu à une époque relativement récente son complet développement est ancienne et déjà donna lieu à des applications avant l'introduction du chauffage dans le vide, notamment dans l'appareil Degrand. Nous ne pouvons que citer les dispositifs présentant un intérêt particulier soit par leur originalité soit par l'importance des applications qui en ont été faites.

L'appareil de *Lille*, qui fut assez répandu aux Etats Unis, est formé en principe de caisses tubulaires analogues à celles des appareils d'évaporation ordinaires comportant de longs tubes verticaux.

Dans la chambre de vapeur de jus au-dessus de la caisse tubulaire se trouve un distributeur qui reçoit le jus et le déverse en pluie sur la plaque tubulaire, en sorte que le liquide se répand en faible quantité à la surface des tubes. Le liquide arrive à la partie inférieure de l'appareil après avoir subi une concen-

tration au contact des tubes ; il est recueilli au fond de l'appareil ; une pompe le prend et le remonte sans cesse à la partie supérieure au dessus du distributeur.

Le système *Chapmann* a donné lieu à des applications assez nombreuses ; notamment en France à la sucrerie d'Abbeville qui travaille 2000 tonnes par 24 heures. Il s'applique à des caisses ordinaires sans grande modification. Il consiste à faire communiquer les caisses entre elles à l'aide d'un siphon. A cet effet le tube central est raccordé à sa partie inférieure avec un bout de tube

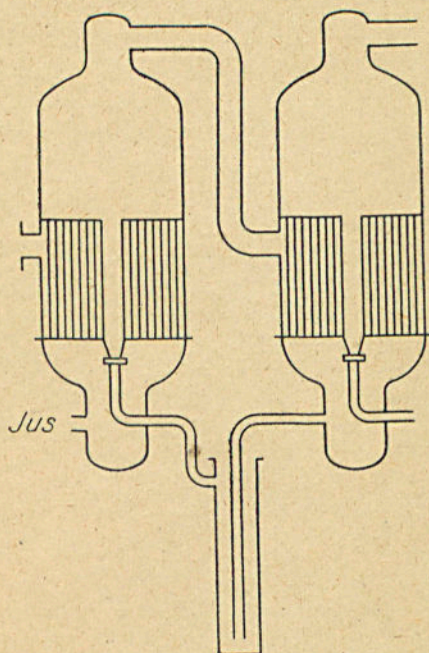


Fig. 99. — Appareil d'évaporation. Système *Chapmann*.

recourbé qui, passant à travers la paroi de la caisse, arrive dans une tubulure dans laquelle arrive également un tuyau communiquant avec la partie inférieure de la caisse suivante.

Dans chaque caisse le jus arrivant à la partie inférieure pénètre dans les tubes. Il y est maintenu lorsque l'appareil est au repos à une hauteur très faible au dessus de la plaque tubulaire inférieure ; c'est-à-dire que, au total le système en question réduit considérablement la quantité de jus en travail ; la production de vapeur aux dépens du jus projette celui-ci le long de la paroi ; comme le liquide ne supporte pas de pression hydrostatique au dessus de lui la vaporisation est intense. Le liquide est violemment projeté dans la calandre et parfois on a disposé au dessus de chaque tube une sorte de capuchon pour empêcher la formation en trop grande quantité d'entraînement de jus à l'état vésiculaire.

Le réglage de l'appareil s'effectue de façon telle que pendant le travail toute la surface des tubes soit recouverte d'une mince couche de liquide sans

quoi la vaporisation ne se ferait pas au maximum possible et la circulation ne s'établirait pas. Le réglage comporte d'ailleurs des hauteurs de jus variable dans les diverses caisses, allant en décroissant du premier au dernier corps.

L'appareil *Yaryan* est à plusieurs corps dont chacun se compose d'un faisceau tubulaire horizontal dans lequel circule le jus ou le liquide sucré à évaporer.

La vapeur circule autour des tubes comme dans un appareil ordinaire à caisses verticales. Le faisceau tubulaire communique d'un côté avec une petite chambre à jus munie d'une sorte de distributeur qui peut se manœuvrer de l'extérieur et injecte du jus, en quantité réglable, dans chaque tube. De l'autre côté du faisceau tubulaire est une chambre où arrivent le jus concentré et les vapeurs qui s'en dégagent ; une chicane sert à éviter les entraînements, le jus tombe à la partie inférieure ; l'évacuation en est assurée par une soupape que commande un flotteur. Il se forme de la vapeur dans le tube aux dépens du jus ; des bouchons de jus s'établissent, à condition que l'arrivée de liquide soit convenablement réglée. Il ne se trouve dans le faisceau tubulaire qu'une très faible quantité de jus. La faible durée du contact avec la vapeur permet d'obtenir des produits peu colorés (le *yaryan* a fait l'objet d'applications, d'ailleurs éphémères, en raffinerie pour la concentration de petites eaux)

Nous citerons seulement les dispositifs de Dulac, Greiner, Bontemps, Canaret, Schroder pour provoquer la circulation du liquide et plus récemment celui de M. Ernotte désigné sous le nom de *Rolarépic* (Journal des fabricants de sucre 22 novembre 1916), formé de cylindres rotatifs hérissés de pointes.

Appareils Kestner.

L'évaporation des jus sucrés a bénéficié, grâce à P. Kestner, de très notables progrès par l'application d'un système qui fut d'abord employé dans d'autres industries dans lesquelles se posait le problème de l'évaporation de très grandes quantités du liquide altérables par le chauffage prolongé (bouillons de gélatine, extraits de bois) ou devant simplement résoudre le problème d'évaporer très économiquement (solution salines).

Les évaporateurs Kestner sont introduits en sucrerie depuis 1904. Ils sont basés sur le principe de l'évaporation en couches très minces dans des tubes verticaux de très grande longueur. On introduit à la partie inférieure des tubes une certaine quantité de liquide à évaporer tandis qu'on chauffe fortement l'extérieur du tube. Il se forme à la partie inférieure du tube un mélange de bulles de vapeur et de liquide qui s'élève rapidement. Les bulles d'abord très petites grossissent vite et bientôt forment un chapelet, chaque bulle étant séparée de la suivante par un cylindre de liquide. Les bulles continuant à grossir crèvent et projettent le liquide en très mince couche contre la paroi du tube ; et cette mince couche

est entraînée jusqu'en haut donnant lieu au phénomène qu'on appelle le *grimpage*.

C'est en somme l'application du principe des *émulseurs* ou chapelets de Pohlé. Mais il fallut pour en faire l'application à l'évaporation déterminer avec exactitude les conditions particulières qui doivent être réalisées; une de ces conditions — réalisée déjà dans le générateur à vapeur par Solognac — consiste à n'introduire dans un temps donné que la quantité d'eau qui peut être vaporisée dans ce temps.

L'appareil Kestner (fig. 100) se compose de faisceaux de tubes de 7 m de longueur, qui peuvent être en cuivre ou en acier, mandrinés dans deux plaques rivées à une calandre. La partie inférieure des tubes sort de la plaque tubulaire et plonge dans la *culasse* où arrive le jus à évaporer. La partie supérieure des tubes débouche dans une capacité où s'effectue la séparation de la vapeur du jus qui est entraîné par grimpage. Une chicane centrifuge fixe facilite cette séparation. Des aubes fixes, constituant cet appareil, impriment au mélange de jus et de vapeur un mouvement de rotation qui précipite les particules à l'état vésiculaire; un vase de sûreté est de plus disposé avant la sortie de la vapeur. La vapeur se dessèche complètement avant sa sortie de l'appareil.

L'évacuation du jus concentré s'effectue par une tubulure ménagée au bas de la capacité supérieure élargie de la calandre.

On voit que l'installation des évaporateurs Kestner exige une grande hauteur, une dizaine de mètres. Mais par contre leur encombrement en plan est très faible. C'est là une condition extrêmement précieuse dans nombre de cas, lorsque par exemple on

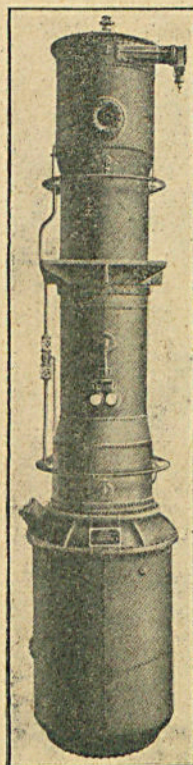


Fig. 100. — Caisse d'évaporation Kestner.

veut compléter une installation d'évaporation insuffisante dans une vieille usine où la place est mesurée.

Bien entendu les évaporateurs Kestner s'emploient, comme les caisses tubulaires ordinaires, à effets multiples et permettent les réchauffages combinés ; les effets peuvent être sous vide ou sous pression ; nous parlerons plus loin de ce mode d'évaporation.

La caractéristique particulièrement intéressante des appareils Kestner est la très faible durée de séjour dans les tubes, qui ne dépasse pas 30 secondes, lorsqu'il s'agit de jus faible, et qui bien entendu augmente lorsqu'il s'agit de jus concentrés ; aussi l'expérience ne montre pas d'altération plus grande que dans les appareils d'évaporation ordinaires, malgré des températures de vapeur de 130°.

La vitesse de circulation des jus dans les tubes présente encore le très important avantage de supprimer pour la presque totalité les incrustations.

L'emploi le plus fréquent des évaporateurs Kestner dans les sucreries de betteraves est comme préévaporateur à simple ou double effet ou comme premier corps, le reste de l'appareil d'évaporation étant constitué par des caisses ordinaires.

C'est en effet un avantage très précieux des appareils Kestner de se prêter à des augmentations de la puissance des postes d'évaporation par addition d'éléments peu encombrants permettant de conserver les appareils existants, sans modification essentielle de l'installation et sans modification profonde du mode général de travail de l'usine.

Mais on rencontre de très nombreuses applications des appareils Kestner comportant une installation complète du poste d'évaporation.

Dans son remarquable ouvrage sur *l'Evaporation des jus sucrés* (Paris Geisler 1913) Horsin Déon fait ressortir l'avantage des appareils à ruissellement et en recherchant les raisons il écrit :

« ... Aussitôt qu'une bulle de vapeur est formée si elle rencontre une épaisseur d'eau au dessus d'elle, si petite qu'elle soit, mais supérieure aux deux tiers de son rayon, elle ne peut s'échapper librement. Elle éprouve à se détacher de la surface de chauffe un retard considérable aussi bien qu'à gagner la surface du liquide ».

« Donc l'appareil à ruissellement dans lequel la couche liquide est fort mince et comparable à $\frac{2}{3} R$, est infiniment supérieur à tous les autres ».

Par des considérations mathématiques, pour lesquelles nous renvoyons le lecteur à l'ouvrage précité l'auteur démontre que le ruissellement doit se faire à 100° sous une épaisseur de liquide sur les tubes inférieurs à 2,08 millimètres ; au-dessus on perd le bénéfice de la hauteur de liquide.

Fonctionnement de l'appareil à évaporer.

Nous considérerons l'appareil classique à caisses tubulaires formé d'éléments semblables quant à leurs dispositions générales, mais de dimensions différentes allant en diminuant du premier au dernier.

Au sommet de la coupole de chacune des caisses un cylindre de petit diamètre est fixé, sur lequel se boulonne la tuyauterie qui conduit à la caisse suivante ou au condenseur la vapeur produite dans la caisse considérée. Cette tuyauterie doit être très largement calculée ; son diamètre insuffisant parfois est la cause du rendement réduit d'appareils largement calculés quant à la surface de chauffe.

A la partie inférieure de la calandre se trouve placée une tubulure par laquelle pénètre le jus à évaporer provenant de l'appareil précédent.

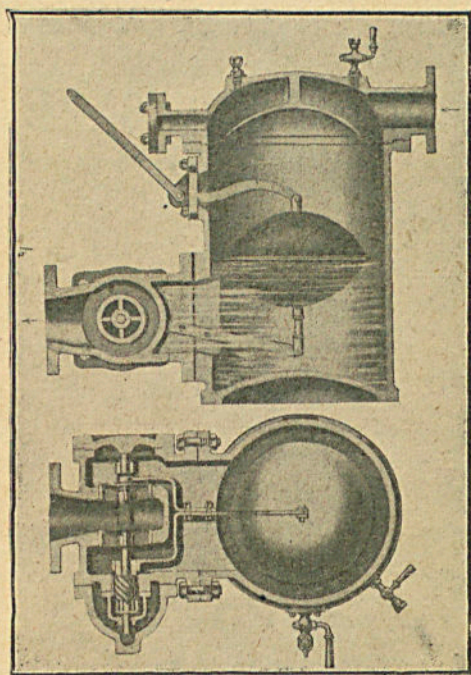


Fig. 101. —Purgeur automatique d'eau de condensation.

Circulation des Jus. — Le premier élément est alimenté en jus à la partie inférieure de la calandre, immédiatement au dessus du corps tubulaire. Le jus y est introduit à une température voisine de sa température d'ébullition. C'est une condition nécessaire pour assurer une vaporisation intense à l'arrivée dans la caisse d'évaporation où règne une pression inférieure à la pression atmosphérique.

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, le jus s'écoule de la caisse dans la

suyante par une conduite fixée à la partie inférieure et conduisant le jus au-dessus du corps tubulaire de la caisse suivante.

Donc le jus circule de la première caisse vers la dernière en se concentrant dans un vide de plus en plus grand, c'est-à-dire que le liquide bout à une température de plus en plus basse : c'est là précisément une disposition rationnelle, car à mesure que le jus se concentre, les impuretés, qui sont cause d'altération sous l'action de la chaleur, augmentent.

Le jus passant d'une caisse à la suivante arrive dans celle-ci à une température supérieure à sa température d'ébullition dans le nouveau vide : là encore l'évaporation devient donc rapide et la circulation assurée.

La vapeur produite dans chaque caisse à l'aide de jus de betteraves, qui contient des composés amidés et qui est alcalin dégage de l'ammoniaque. L'action corrosive de cette substance en nécessite une évacuation régulière ; de même doivent être évacués des gaz incondensables. Cette évacuation se fait par la partie supérieure de la caisse tubulaire, où ces gaz s'accumulent, et doit constituer une purge différente de celle de l'eau de condensation dont nous avons parlé plus haut. L'évacuation des gaz se fait par un système de tubes reliés directement au condenseur.

Evacuation des eaux condensées. 1° Eaux des caisses.

L'eau de condensation de la première caisse, lorsque celle-ci est chauffée par de la vapeur directe est seule à ne pas contenir d'ammoniaque. Ne contenant d'autre impureté que la graisse provenant des cylindres des machines elle est retournée aux générateurs. Comme il y a une certaine pression dans cette caisse l'eau de condensation peut s'écouler d'elle même. On emploie pour réaliser cette évacuation différents systèmes de purgeurs automatiques dont le rôle est de laisser échapper l'eau et de retenir la vapeur (fig. 101 et 102). On peut aussi faire cette évacuation à l'aide d'une pompe qui a l'avantage d'évacuer en même temps que l'eau les gaz incondensables, air et acide carbonique. Mais pour les caisses autres que la première, comme l'espace intertubulaire est à une pression inférieure à la pression atmosphérique, une aspiration est nécessaire. Elle peut se réaliser en faisant communiquer les conduites d'évacuation des eaux condensées avec le condenseur. Cette solution simpliste présente l'inconvénient de mêler avec l'eau du condenseur (généralement impure et toujours à éliminer de l'alimentation des générateurs) les eaux provenant de la vaporisation, qui sont au contraire utilisables à nouveau.

Dé plus les vapeurs des premières caisses sont à une température élevée et leur eau de condensation entraîne une perte de calories et une dépense d'eau au condenseur. Cette solution doit donc être rejetée.

On emploie plus rationnellement les pompes d'extraction soit qu'on relie chaque caisse à une pompe, soit qu'on fasse arriver les eaux de chacune d'elles dans une boîte de retours commune reliée à une seule pompe. Cette boîte est formée de deux compartiments inégaux. S'il s'agit par exemple d'un triple effet l'espace intertubulaire de la 2^e caisse est relié au plus grand compartiment où les gaz se dégagent, par un conduit, à la 3^e caisse. L'espace intertubulaire de la 3^e caisse est relié au petit compartiment : les gaz qui se dégagent s'évacuent par un autre conduit branché sur la conduite de sortie des vapeurs de cette caisse vers le condenseur.

Les deux compartiments communiquent par une tubulure que ferme un clapet commandé par un flotteur qui est placé dans le grand compartiment. Quand le niveau de l'eau s'élève dans ce compartiment le flotteur établit la communication : l'eau pénétrant dans le petit compartiment relié à la pompe s'évacue régulièrement. Il y a toujours dans chaque compartiment une dépression plus grande que celle de l'espace intertubulaire avec lequel il est en relations, en sorte que l'évacuation de l'eau est constante.

2° *Evacuation des eaux condensées des chauffages multiples.*

Lorsque l'on a recours aux chauffages à effets multiples le problème de l'évacuation des eaux ammoniacales se complique, puisque cette disposition, qui revient en somme à multiplier le nombre des effets, amène à réaliser l'évacuation d'un grand nombre de retours. C'est d'ailleurs ce qui se produit quand au lieu du triple effet on emploie un quadruple ou même un quintuple effet. L'usage de pompes deviendrait coûteux quant au montage et compliqué quant au fonctionnement. L'aspiration par une installation spéciale de condensation est alors employée; elle est la plus courante et désignée sous le nom de *marais*. L'ins-

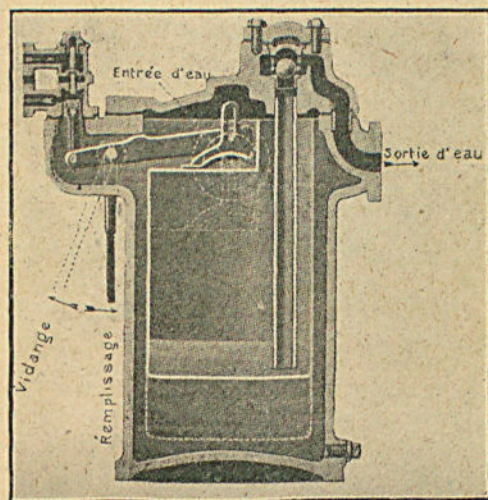


Fig. 102. — Appareil purgeur Michaelis.

tallation consiste en un bac placé dans un puits, théoriquement à 10 m, 33, en pratique à environ 9 mètres en dessous du niveau des appareils à purger. Une série de tuyaux fait communiquer chacun des appareils avec la bache. On dispose sur chacun des tubes, à la sortie même de la caisse ou du réchauffeur à purger une bouteille séparatrice. Dans cette bouteille les gaz se dégagent, gagnent la partie supérieure, d'où un tube les conduit à la calandre de l'appareil suivant, à vide plus élevé (ou au condenseur lorsqu'il s'agit de la dernière caisse du multiple effet.) Les eaux condensées tombent dans la bache située au fond de la fosse; là une pompe les reprend pour les envoyer au lieu de leur utilisation (alimentation des générateurs, lavage des écumes). Leur mélange avec les eaux de condensation de la première caisse est possible pour alimenter les générateurs, à condition que la purge des gaz ammoniacaux soit bonne.

On s'assure que chaque évacuation se fait régulièrement en plaçant un dispositif de contrôle de l'écoulement (qui rend celui-ci visible par le moyen d'une glace); on régularise, s'il y a lieu, cet écoulement en agissant sur des robinets intercalés sur les tuyauteries qui vont aux calandres ou au condenseur. Le fonctionnement irrégulier du marais peut produire des pertes de vapeur;

cet inconvénient se produit quand la pression dans la bêche est inférieure à la pression des espaces intertubulaires.

Nous indiquerons un autre procédé qui évite ce dernier inconvénient et a aussi l'avantage de supprimer la fosse dans laquelle on doit, dans le procédé ci-dessus, placer la bêche. Il consiste dans l'emploi de siphons qui font communiquer les espaces intertubulaires des caisses autres que la première avec un ballon de retour muni d'un flotteur. Ce ballon de retour peut fonctionner quelle que soit la pression, c'est-à-dire légèrement supérieure ou légèrement inférieure à celle de chacune des caisses. Un flotteur installé dans le ballon commande une pompe à vapeur à action directe qui est installée à un niveau inférieur à celui du ballon et assure l'évacuation de l'eau au fur et à mesure de sa condensation. Quand on emploie ce dispositif on évacue directement l'eau de condensation de la 1^{re} caisse vers la bêche d'alimentation des générateurs.

On peut aussi réaliser la purge des corps tubulaires et l'évacuation des vapeurs ammoniacales par un autre dispositif qui consiste à faire passer l'eau de condensation d'une caisse dans l'autre, de la première à la dernière, à l'aide de siphons, munis, comme dans le cas des purges individuelles avec envoi au marais, d'un dispositif évacuant les gaz vers le haut de la calandre. Bien entendu les diamètres des tubes dont sont faits les siphons sont variables d'une caisse à l'autre, pour assurer l'écoulement nécessaire, sous une même dépression, de quantités d'eau variables, celle produite à la dernière caisse étant la plus grande. Des regards sont ménagés dans les bouteilles séparatrices. Une seule pompe d'extraction est installée à la dernière caisse. Il y a plus de simplicité dans l'installation mais une moins bonne purge, se traduisant parfois par une diminution de rendement.

Nous avons vu qu'il se dégage pendant l'évaporation des jus sucrés une quantité assez importante d'ammoniaque provenant de l'action de la chaux sur les amides qui existent naturellement dans la betterave.

Il faut noter que l'ammoniaque agit sur les tubes de cuivre et les ronge, surtout par le haut. L'ammoniaque n'agit sur le cuivre qu'en présence d'oxygène. Il faut donc qu'il y ait de l'air pour que l'attaque se produise.

Dans certains appareils on a évité l'inconvénient de l'attaque par l'ammoniaque en étamant les tubes de laiton du côté où ils sont en contact avec les vapeurs ammoniacales.

La quantité d'ammoniaque produite est d'environ 15 grammes par 100 kilos de betteraves. Si en raison de l'action nocive des sels ammoniacaux sur les tubes de cuivre l'élimination doit en être assurée aussi complètement que possible, par contre leur valeur n'est pas assez élevée pour qu'on doive utilement tenter de les recueillir ; les essais entrepris dans cette voie par des moyens coûteux n'ont pas offert d'intérêt jusqu'ici. Le problème essentiel qui se pose au directeur de sucrerie est d'évaporer rapidement le jus sucré avec un minimum de dépense de charbon et de main d'œuvre. Il semble

bien qu'il faut beaucoup sacrifier à sa solution et qu'il est de bonne économie de négliger bien des à côtés. Cependant dans le questionnaire proposé pour l'année 1929 par l'Association des Chimistes de Sucrierie et de Distillerie nous voyons figurer (Bull.

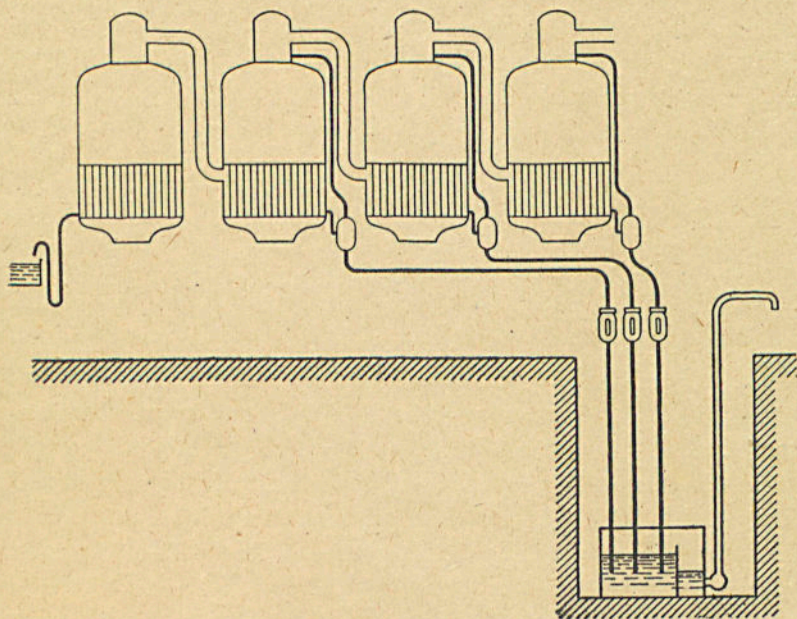


Fig. 103. — Marais pour l'Évacuation des eaux condensées.

ass. chim. juillet-août 1923), l'indication des moyens qu'il conviendrait d'employer pour récupérer l'ammoniaque perdue actuellement à chacun des postes (Carbonatation, filtration des écumes, évaporation, cuite).

L'existence de fermentations des jus dans les appareils à évaporer se manifeste par une diminution d'alcalinité. Elles peuvent se produire dans des jus maintenus à des températures relativement élevées. On en a signalé comme pouvant se produire jusque vers 85°. Le frai de grenouille ou *leuconostoc méseinteroïdes* a pu se manifester abondamment dans une sucrierie russe (Centr. p. d. zuckerindustr. 1924, t. 32 p. 967) dans le troisième corps d'un triple effet. Les foyers d'infection ont été trouvés dans l'épulpneur, la contamination

était vraisemblablement due aux eaux du transporteur introduites dans le laveur.

J. Vondrak signale dans le quatrième corps d'un appareil d'une sucrerie en Tchéco-Slovaquie où la température était de 55° à 60°, parfois tombant au dessous de 50°, la présence en grande quantité de matières mucilagineuses produites par des bactéries thermophiles vivant au dessous de 59° dans des solutions concentrées et intervertissant le saccharose.

Accessoires des Caisses d'Evaporation

Toute vaporisation violente d'un liquide provoque la formation de particules de ce liquide à l'état vésiculaire. Il se dégage donc du jus sucré pendant son évaporation des vésicules formées de ce jus sucré lui-même. Dans certains cas, quand des substances particulières sont en dissolution dans le jus, la présence de mousses complique le phénomène. Enfin, par suite d'accident ou de négligence, des quantités plus ou moins importantes de liquide peuvent être entraînées. Il importe donc de remédier à cet entraînement des substances autres que l'eau, lequel entraînement est toujours notable et éventuellement très considérable.

Il se produirait en effet tout d'abord une perte de sucre et, les matières organiques, sucre compris, ainsi entraînées se rendraient avec l'eau condensée aux générateurs où elle causerait les plus graves dégâts.

Pour remédier à l'entraînement vésiculaire il faut tout d'abord donner aux calandres des appareils à évaporer des dimensions telles qu'il y ait toujours un grand espace au dessus de la surface du liquide en ébullition. Horsin-Déon dit avec raison « Une haute calandre est le meilleur vase de sureté ». La bonne marche de l'appareil comporte d'ailleurs le maintien constant d'une faible hauteur de liquide au dessus de la plaque tubulaire supérieure, car cette couche s'oppose à la circulation, active du liquide, condition essentielle pour un bon rendement de l'appareil.

Dans l'étude raisonnée qu'il fait de la question des entraîne-

ments de sucre (Traité de la fabrication du sucre p. 695). Horsin-Déon établit par un calcul théorique de la vitesse ascensionnelle des jus qu'il suffirait pour éviter les entraînements d'une hauteur de 1 m, 20 ou 1 m, 50 avec le vide le plus parfait. Cependant avec des hauteurs très supérieures même, on observe encore des entraînements.

La raison en est précisément que le jus entraîné dans le courant

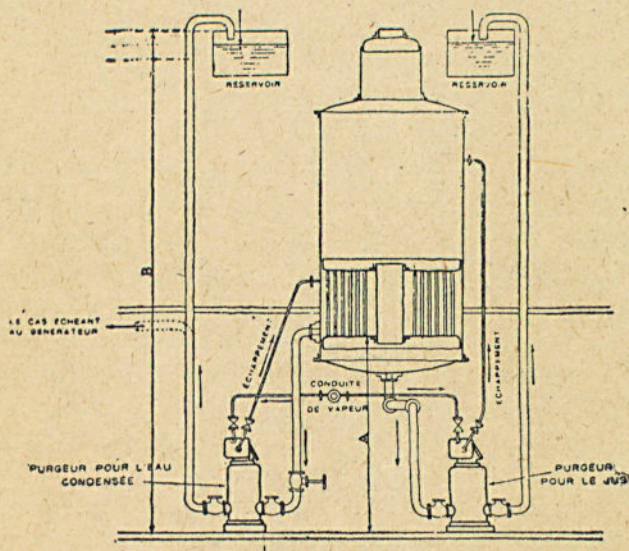


Fig. 104. — Schéma d'installation de purgeurs alimentateurs automatiques pour l'extraction des eaux de condensation et des sirops d'une caisse d'évaporation.

de vapeur n'est pas sous forme de gouttelettes véritables, mais de vésicules qui sont des bulles creuses comme dans les nuages. Il faut une hauteur de 2 m, 50 de calandre pour éviter à peu près complètement les entraînements.

Malgré la hauteur des calandres il faut donc que les vésicules soient brisées contre un obstacle.

C'est le but que remplissent les vases de sûreté, désucreurs ou brise-mousse, ce dernier mot assez impropre. On les désigne aussi sous le nom de déphlegmateurs.

Le plus simple est le *vase de sûreté*, cylindre de gros diamètre placé à côté de la caisse ; on a imaginé différents systèmes de désucresseurs (appareils *Hodek* avec tôles perforées ; *van Ingelandt* à faisceaux de tubes, *Helmer* à toiles métalliques).

La précipitation des vésicules est le résultat du ralentissement de la vapeur dans le cylindre de grand diamètre. Horsin-Déon a consacré de longs développements à l'étude du ralentisseur dans ses études sur le mouvement des vapeurs dans les tuyaux. Il en a expliqué l'efficacité en montrant l'action de la pesanteur sur les vésicules dont la vitesse est réduite.

On appliqué la force centrifuge au désucrage des vapeurs. Dans le *système Bouillant* on emploie une turbine à ailes courbes calées sur un arbre vertical qui tourne à 300 tours. La force centrifuge précipite les gouttelettes.

Dans les appareils Kestner, le désucrage est aussi produit par application de la force centrifuge. Le résultat est obtenu par des ailettes disposées en chicane à la partie supérieure de l'appareil.

Les caisses d'évaporation doivent encore comporter les appareils accessoires suivants.

Manomètres, Vacuomètres, Thermomètres. — Chaque caisse d'un appareil évaporatoire doit en être munie. Les indicateurs de vide métallique donnent des indications qu'il est bon de contrôler par l'emploi d'un vacuomètre à mercure qui doit être muni d'un petit vase de sûreté empêchant l'eau condensée de venir au contact de la colonne de mercure.

Robinet à Beurre. — On introduit dans la caisse au moment de la mise en route ou dans le cas de production anormale de mousses par suite du travail de jus défectueux, une certaine quantité de beurre de coco à l'aide d'un robinet muni d'un entonnoir.

Glaces. — Pour suivre la marche de l'ébullition à l'intérieur de chaque caisse elle doit être munie de regards formés par une glace fixée dans une monture en bronze ; la glace fixée à l'aide d'un joint en caoutchouc est serrée par des écrous de bronze. L'étanchéité doit être parfaite ; elle est difficilement obtenue quand on emploie de grandes glaces rectangulaires ; il est préférable à ce point de vue d'employer des lunettes circulaires en nombre suffisant.

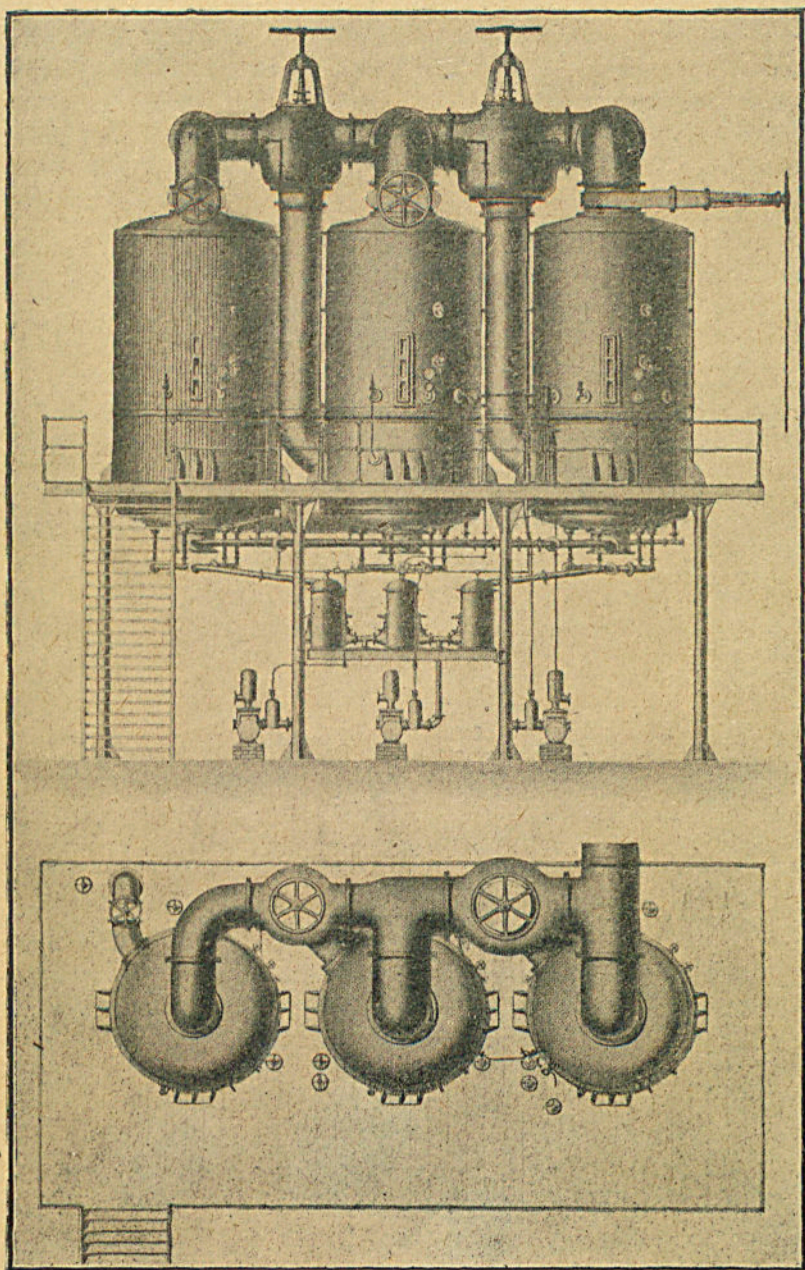


Fig. 105. — Triple effet (Plan et Elévation) (Cliché Gillain).
QUILLARD. — Sucrerie.

Niveau d'eau. — Chaque caisse doit en être munie afin qu'on puisse bien se rendre compte de la hauteur du jus dans l'appareil. La tendance est trop fréquente de maintenir dans les caisses d'évaporation une hauteur de liquide exagérée au dessus du corps tubulaire ; aussi le contrôle de la hauteur de liquide doit-il être possible en tous les points de l'appareil d'évaporation.

Nombre des effets à employer dans l'évaporation à multiple effet.

L'utilisation multiple de la vapeur avec emploi du vide donne théoriquement un rendement d'autant meilleur que le nombre des effets est plus grand. Cependant la chute totale de température est au plus de 50 degrés : on est en effet limité par la température initiale de la vapeur compatible avec la non altération du sucre, d'autre part on ne peut pratiquement descendre au dessous d'un vide de 0, 60 dans des appareils industriels.

Il faut observer que, dans l'appareil d'évaporation, la chute de température d'un corps à l'autre, ne doit pas descendre au dessous d'une certain nombre de degrés ; sinon il en résulte une nécessité pratique désastreuse, celle d'exagérer la surface de chauffe ; cette surface pour une même chute est d'autant plus grande que le liquide ayant plus de densité s'y montre moins apte à une circulation rapide qui renouvelle les surfaces. On est forcé donc de réaliser des chutes de température qui sont de 4 à 5° pour les jus des premiers corps, qui doivent être de 7 à 10° ensuite et enfin de 15° pour les jus concentrés ou sirops. Ceci revient en pratique à fixer au maximum à 6 le nombre des effets qu'il est possible d'utiliser. D'autres considérations, déduites de la facilité de conduite de l'appareil et surtout du prix de sa construction font envisager comme encore exagéré le nombre de 5 effets et c'est l'appareil à quadruple effet qui rallie la majorité des suffrages. Pour augmenter le rendement d'un système donné on s'efforce de maintenir aussi élevée que possible la température initiale. On a donc été amené, comme nous le verrons plus loin, à pratiquer l'évaporation sous pression.

Le principe qu'il est essentiel d'observer sans cesse dans la

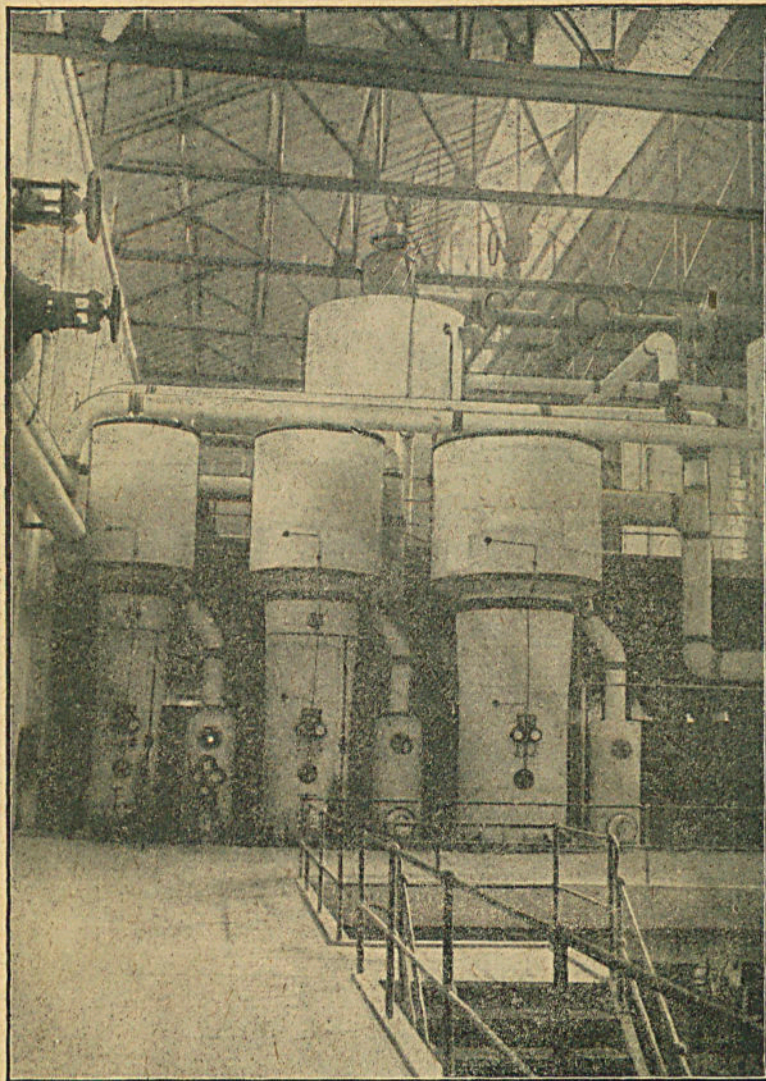


Fig. 106. — Triple effet Kestner.

conduite de l'appareil d'évaporation c'est que la quantité de vapeur qui va au condenseur soit aussi faible que possible ; ce sont les corps tubulaires des réchauffeurs et de l'appareil à cuire qui doivent jouer exclusivement le rôle de condenseur,

Enfin dans le cas des appareils formés de caisses à faisceau tubulaire ordinaires il faut maintenir toujours une très faible hauteur de jus au-dessus de tubes ; et afin d'assurer une bonne transmission de la chaleur ceux-ci doivent toujours être propres.

Annexes des Appareils d'Évaporation Préévaporateur.

Un des plus importants progrès de l'industrie sucrière consiste dans le développement du système d'évaporation de manière à réduire dans une grande proportion la quantité de vapeur envoyée au condenseur, en utilisant la vapeur produite dans les caisses d'évaporation pour divers chauffages qui, primitivement, se faisaient avec des vapeurs directes.

On a été amené à adjoindre à l'appareil d'évaporation à effet multiple un corps de plus, de manière à augmenter la température en tête du système général d'évaporation.

L'emploi de la vapeur directe avait été fait par Lexa en 1882 pour chauffer la première caisse, de façon à suppléer à l'insuffisance de la vapeur d'échappement dans certaines usines. Cette insuffisance était d'ailleurs le résultat d'un réel progrès par l'emploi de moteurs à meilleur rendement.

Pauly en Allemagne reprit ce principe en 1889 et introduisit la vapeur directe dans une première caisse. La vapeur de jus fournie par cette caisse supplémentaire servait à faire les chauffages nécessitant une température élevée. Le système se répandit rapidement en France et le nom de *Pauly* désigna cette première caisse ; on l'appelle aussi préévaporateur ou bouilleur de jus.

La caisse ainsi ajoutée en avant de l'appareil d'évaporation est une caisse verticale construite suivant les mêmes principes que les caisses ordinaires d'évaporation, mais, avec une très haute calandre. Les tubes sont en acier.

Cette caisse est munie en outre d'une soupape de sûreté, de

manière que, en aucun cas, la pression ne puisse y atteindre une valeur supérieure à celle à laquelle correspond la température que le jus de betteraves peut supporter sans s'altérer.

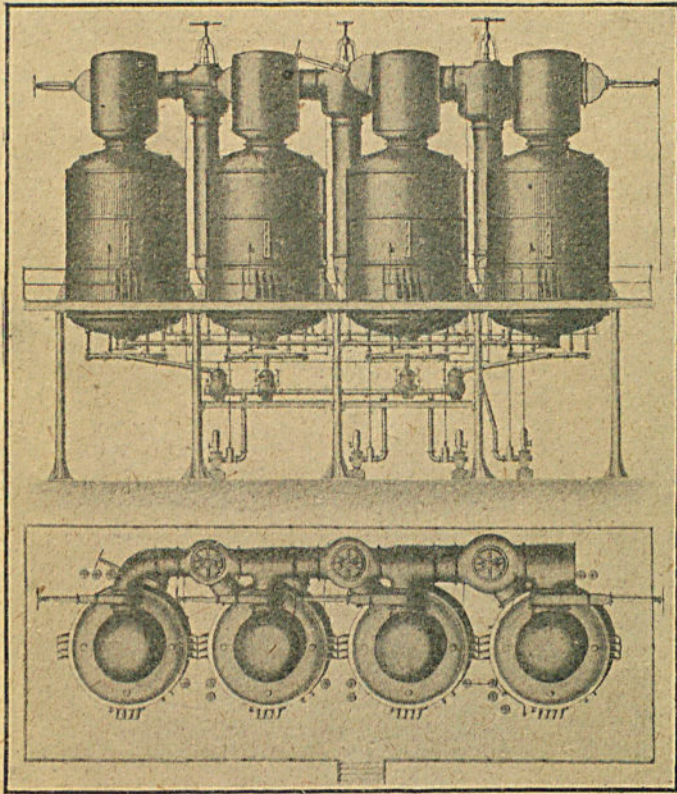


Fig. 107. — Quadruple effet. Plan et Elévation (Cliché Gillain).

Le Pauly donne des vapeurs qui sont employées au chauffage dans le 1^{er} corps de l'appareil ; l'adjonction du Pauly permet de faire travailler les machines à vapeur avec une plus faible contre-pression c'est-à-dire dans de meilleures conditions de rendement.

L'emploi du chauffage rationnel, avec de la vapeur à double effet dans les postes de chauffage de l'usine, va de pair avec l'emploi de moteurs à vapeur à bon rendement qui par conséquent ne laissent

qu'une quantité de vapeur limitée disponible pour l'évaporation.

L'avantage du Pauly disparaît dès que, par une mauvaise marche des moteurs, on a un excès non utilisé de vapeurs d'échappement.

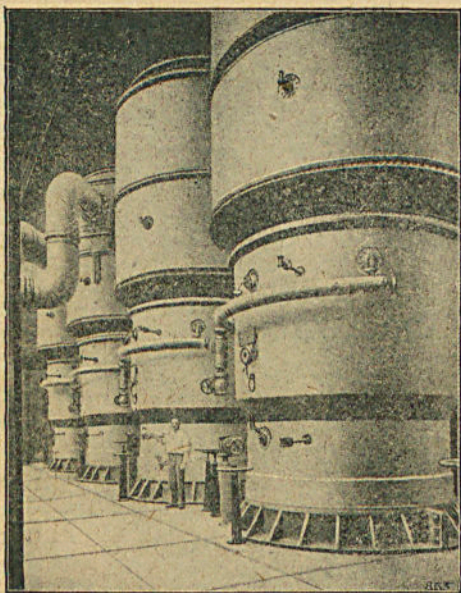


Fig. 108. — Quadruple effet Système Kestner de 4800 m² de surface de chauffe.

Disons de suite que le but essentiel que remplit le préévaporateur d'élever la température en tête du système d'évaporation peut être aussi bien atteint par l'emploi d'un appareil préévaporateur Kestner. Celui-ci présente en outre l'avantage, en raison de la rapidité d'évaporation, de mettre le jus à l'abri de toute altération.

On conçoit d'ailleurs aisément que si l'on veut utiliser, pour les chauffages divers, la vapeur qu'il est possible de prélever sur les caisses d'évaporation il faut que celles-ci aient une certaine température : c'est tout le problème du chauffage en effet qui se pose. On ne peut élever pratiquement la température d'un liquide auquel un autre liquide ou une vapeur cède sa chaleur à travers une paroi, que s'il y a une différence notable de température entre les deux. Plus cette différence est grande plus on peut réduire la sur-

face de chauffe de l'appareil dans lequel on effectue ce chauffage.

C'est par l'application d'un système qui augmente la température à l'origine de l'ensemble des chauffages que l'on en augmente le rendement ; on ne peut agir efficacement en diminuant la température d'ébullition de la dernière caisse, c'est-à-dire en augmentant le vide.

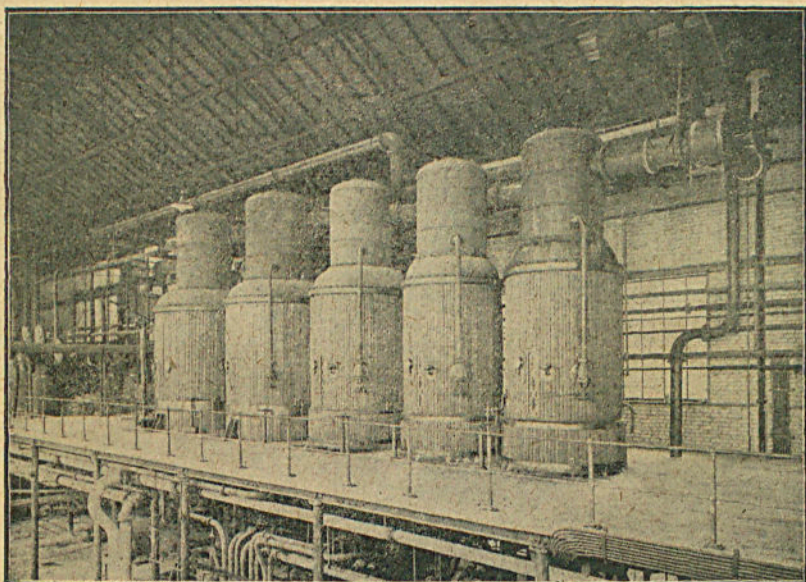


Fig. 109. — Vue générale d'un quintuple effet (Cliché Fives Lille).

Il va sans dire qu'en augmentant la température à laquelle est soumis le sucre on va contre le principe même de l'évaporation dans le vide et qu'on tend à provoquer l'altération des produits. Mais il est fondamental d'observer que lorsqu'une solution sucrée est en contact pendant un temps court avec une paroi chauffée, l'altération est moindre que lorsqu'il y a contact avec une paroi même beaucoup moins chauffée pendant longtemps. Ce qui importe dans l'emploi des chauffages à vapeur directe à tension élevée c'est que la circulation du liquide sucré soit rapide, ce à quoi précisément

tendent les appareils à ruissellement. On n'insistera jamais trop sur ce point.

La température de la vapeur introduite dans la caisse tubulaire d'un préévaporateur est de 115 à 120°. La capacité du préévaporateur contenant le jus doit être munie d'un régulateur de pression agissant sur la vapeur introduite, de façon à éviter toute surélévation de pression.

En raison de la température élevée qui règne dans ces appareils il est indispensable que l'évaporation y soit très rapide et que le niveau du jus soit très bas. L'ébullition y étant tumultueuse il faut d'autre part une calandre très haute.

Dans certaines usines on emploie deux préévaporateurs ou plus exactement un système de préévaporateurs fonctionnant à double effet : le premier est chauffé avec la vapeur directe le second est chauffé avec la vapeur de retour du premier.

On peut ne faire passer qu'une partie du jus à évaporer dans le préévaporateur, l'échauffement à l'aide de cet appareil d'une portion seulement du jus à travailler suffit à amener la totalité à la température qu'il est nécessaire de donner au jus quand il arrive dans le 1^{er} corps.

On réalise cette régulation de la température du jus en faisant circuler en sens inverse, dans un échangeur de température, le jus qui entre au préévaporateur et celui qui en sort.

L'espace dans lequel bout le jus dans le préévaporateur est relié par des conduites aux différents postes où la vapeur de jus est utilisée, c'est-à-dire à la cuite et au réchauffage des jus ; tandis que le jus, qui subit seulement une faible concentration dans l'appareil où il doit séjourner peu de temps, est conduit dans le 1^{er} corps de l'appareil à évaporer. Mais diverses dispositions sont employées : c'est ainsi que la vapeur du préévaporateur peut être aussi envoyée dans le 1^{er} corps d'évaporation où elle s'ajoute à la vapeur d'échappement des machines qui en constitue l'alimentation normale.

Bien entendu ce mélange des vapeurs ne s'effectue pas dans le corps lui-même mais dans un ballon disposé entre les deux appareils.

Nous avons vu qu'on a recours dans certaines installations à l'emploi de préévaporateurs à double effet (et même à triple effet). Mais la question d'altération des jus doit toujours préoccu-

per le constructeur. Aussi l'installation des préévaporateurs à

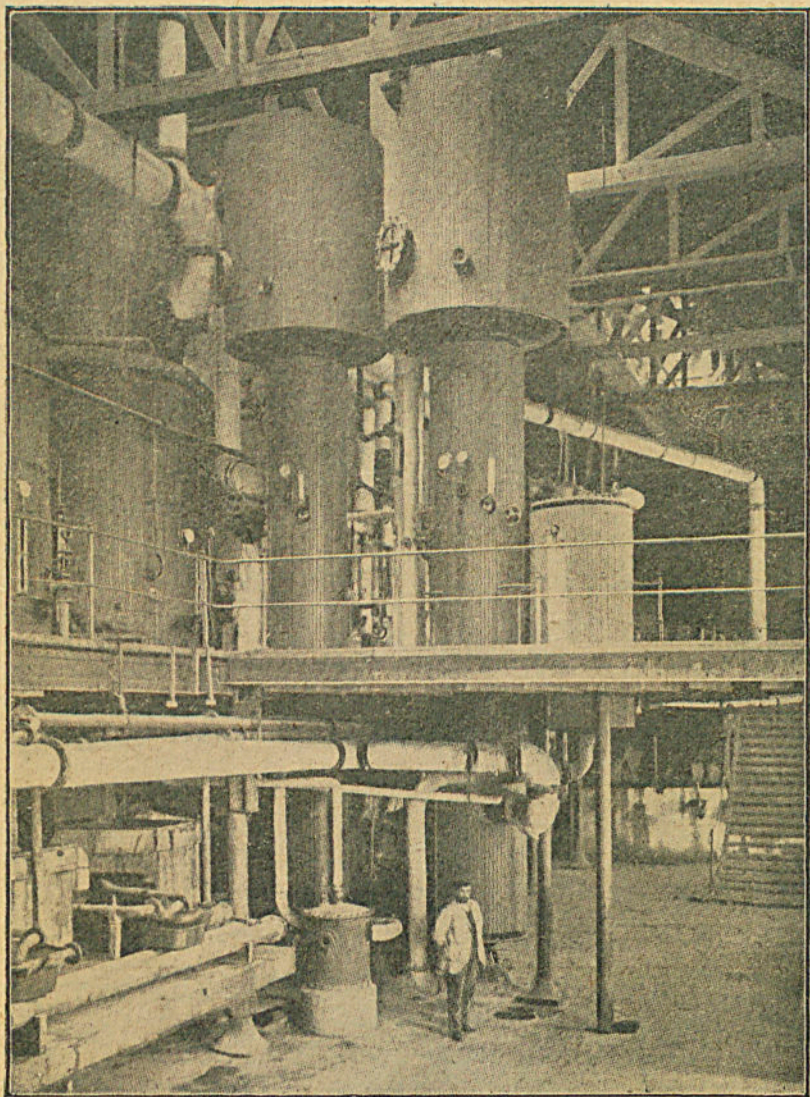


Fig. 110. — Préévaporateurs Kestner à double effet.

double effet doit elle être faite de préférence avec des appareils à ruissellement (fig. 110).

D'autre part, le bon fonctionnement d'appareils dans lesquels les jus sont soumis à haute température implique la nécessité de les alimenter avec des jus aussi bien épurés que possible : les progrès qu'il est possible de réaliser dans l'évaporation sont corrélatifs des progrès dans l'épuration des jus.

Les très grandes surfaces des appareils à évaporer, la température parfois assez élevée, des premières caisses tout au moins, provoquent aussi bien pour les appareils eux-mêmes que pour les tuyauteries qui les desservent des pertes de chaleur très considérables.

Un protection contre le rayonnement par un calorifugeage très soigné est une bonne condition parfois réalisée (fig 112) alors que bien souvent on a recours à un simple revêtement de bois.

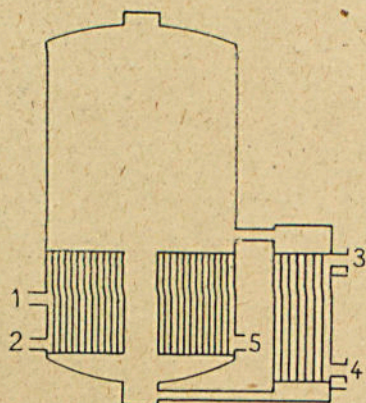


Fig. 111. — Circulateur.

1, Entrée de la vapeur de retour; 2, Sortie de la vapeur de retour; 3, Entrée de la vapeur directe; 4, Sortie de la vapeur directe; 5, Sortie de l'eau de condensation.

Régulateur automatique de pression. — La pression peut être maintenue constante dans le premier corps de l'appareil à évaporer malgré les prélèvements variables de vapeur qui y sont faits par l'emploi d'un appareil spécial (fig. 113) formé d'un système de levier et de contrepoids qui agit sur la valve d'admission. Le levier est mû par un piston sur lequel agit la pression de la vapeur de la calandre.

Circulateur. — En vue d'activer la circulation du jus dans le premier corps de l'appareil à multiple effet on trouve dans certaines installations l'adjonction à ce corps d'un circulateur. C'est un appareil muni d'une caisse tubulaire (fig. 106) qui reçoit de la vapeur directe tandis que la capacité à jus communique par le haut et par le bas avec la capacité à jus du corps de l'appareil à évaporer. L'adjonction du circulateur augmente évidemment le rendement de l'appareil à évaporer, mais c'est en réalité du fait de l'adjonction de vapeur directe, ce qui ne va pas sans dépense et son efficacité réelle n'est

pas établie. En effet dans l'appareil ordinaire à caisse tubulaire bien calculée la circulation du jus s'établit sans l'adjonction de cette annexe. Toutefois on a fait fréquemment un emploi très judicieux de cet appareil en l'adjoignant à une caisse existante dont la surface de chauffe était insuffisante.

Les appareils à évaporation horizontaux sont habituellement

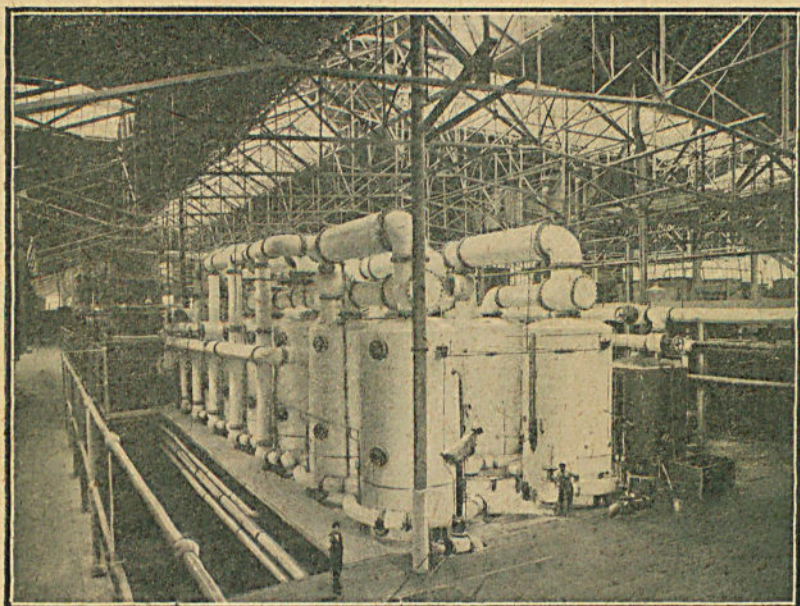


Fig. 112. — Appareils évaporatoires calorifugés à la Sucrerie à Eppeville.

munis de circulateurs. Cette addition ne s'impose pas cependant : l'appareil Jellinek en est muni tandis qu'il n'y en a pas dans l'appareil Lilie. Leur application aux appareils verticaux est exceptionnelle et en fait y est beaucoup moins indiquée. Dans les appareils verticaux qui utilisent au moyen de circulateurs, la vapeur directe, on emploie deux de ces appareils qu'on dispose latéralement, leurs caisses tubulaires se trouvant au niveau de la caisse tubulaire du corps. On les dispose symétriquement aux extrémités d'un même diamètre du corps. Dans les appareils horizontaux on dispose

habituellement quatre circulateurs, de chaque côté de l'axe longitudinal de l'appareil sur deux lignes parallèles à cet axe.

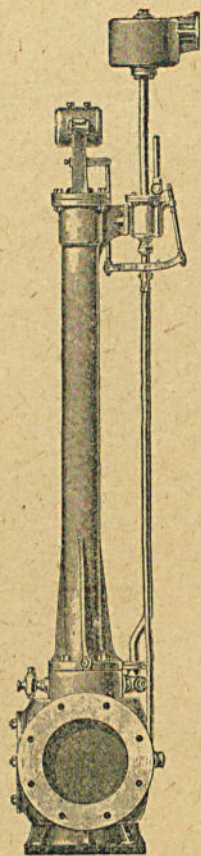


Fig. 113. — Régulateur automatique de pression de vapeur.

Bien entendu si les conduites de vapeur qui alimentent les corps tubulaires des circulateurs sont très petits, puisqu'ils amènent de la vapeur directe, par contre il faut ménager d'énormes tubulures latérales pour que le jus ne trouve pas de résistance à la circulation ce qui est la condition même du fonctionnement de l'appareil. L'emploi du circulateur peut présenter les mêmes inconvénients que le préévaporateur au point de vue de l'action de la chaleur sur le sucre, en cas de suppression ou de négligence dans l'alimentation. Il va sans dire que l'emploi d'un circulateur permet de diminuer la surface de chauffe de la caisse d'évaporation à laquelle il est adjoint; on admet même comme coefficient pratique que l'unité de surface de chauffe du circulateur, équivaut au double de surface de chauffe du corps d'appareil évaporatoire auquel il est adjoint. La même règle est également admise pour le préévaporateur.

L'emploi du circulateur présente surtout l'avantage, en apportant une quantité importante de chaleur sous forme de vapeur directe, de constituer un régulateur de la marche générale de l'appareil à évaporer lorsqu'en effet on prélève irrégulièrement, comme cela est à peu près inévitable, de la vapeur sur les caisses d'évaporation pour satisfaire aux différents postes de chauffage, il en résulte un ralentissement momentané de la marche de l'appareil d'évaporation qui compromet la production générale de l'usine.

Circulateur Naudet. — M. Naudet a imaginé un circulateur qui présente la caractéristique suivante :

Il est en communication avec deux corps consécutifs, ou, dans le cas du premier corps, il est relié avec le haut et le bas de ce corps et aussi avec le tuyau d'alimentation de jus de la pompe.

Le jus dans le corps, circule du sommet du faisceau tubulaire vers le fond, en traversant les tubes. Ce dispositif a pour effet de réaliser l'évaporation en couche mince, sans le secours de pompe. De ce fait seul, la puissance évaporatoire est accrue de 10 à 15 pour cent.

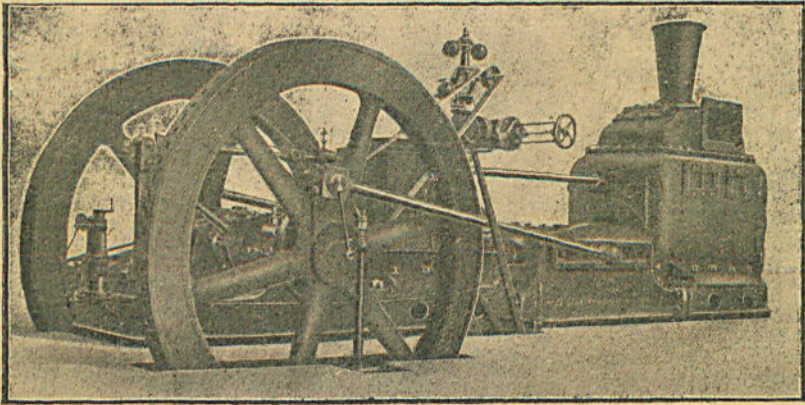


Fig. 114. — Pompe à air humide.

Production du vide.

La dépression nécessaire à la marche de l'appareil se produit à l'extrémité de la dernière caisse de l'appareil d'évaporation. L'expérience montre que le vide doit être maintenu pour une marche normale au moins à 60 mm. de mercure.

Ce vide peut être produit par une pompe de grand débit disposée de telle sorte qu'elle puisse aspirer, en même temps que le gaz contenu dans l'appareil, la vapeur d'eau et l'eau provenant de sa condensation. Cette pompe est désignée sous le nom de *pompe à air humide* (fig. 114). Sa construction doit être robuste et elle consomme beaucoup de force. Mais elle évite la puissante pompe à eau que nécessite l'emploi du condenseur barométrique. Quoi

qu'il en soit c'est à l'aide de ce dernier appareil que l'on a recours depuis longtemps de préférence pour l'installation des usines.

Dans le cas de l'emploi d'une pompe humide on fait précéder celle-ci d'un condenseur formé simplement d'une capacité cylindrique dans laquelle la vapeur

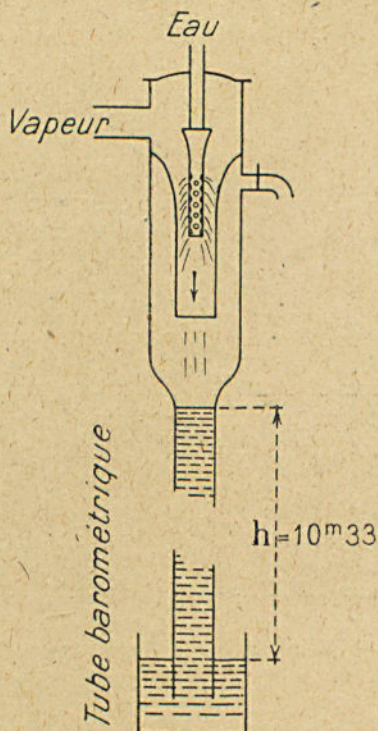


Fig. 115. — Condenseur barométrique.

du dernier corps arrive par la partie supérieure, tandis que l'eau de condensation y pénètre par le bas, finement divisée par une pomme d'arrosoir fixée à l'extrémité du tube d'amenée. Une tubulure latérale évacue vers la pompe l'eau et les gaz. Lorsqu'on emploie un ensemble rationnel des chauffages à effets multiples la quantité de vapeur envoyée au condenseur est très réduite et le travail demandé à ces pompes se trouve ainsi très faible.

Condenseur barométrique.

— L'emploi du condenseur barométrique dont le nom indique assez sur quel principe il repose et comment il fonctionne, s'est généralisé en sucrerie. Il a été ima-

On peut les ramener aux deux types suivants :

1^o On fait arriver l'eau froide et la vapeur par le haut de l'appareil (fig. 115). L'eau et la vapeur circulent donc dans le même sens, l'écoulement se fait à l'intérieur d'un cône vers la colonne barométrique. La pompe à air est reliée par une conduite qui débouche dans la partie périphérique de manière à ce qu'elle n'entraîne ni eau ni vapeur, mais seulement les gaz incondensables (ce qui fait donner à la pompe employée avec les condenseurs barométriques le nom de *pompes à air sèche*.)

2^o On fait arriver l'eau froide à la partie supérieure du conden-

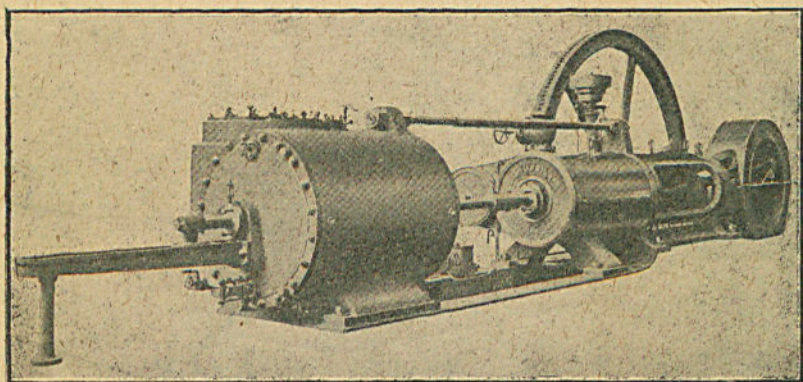


Fig. 116. — Pompe à air sèche.

seur par un tuyau central qui se termine par une pomme d'arrosoir. L'eau se répand ensuite par une tôle perforée sous forme de pluie dans la totalité de la capacité du condenseur et y rencontre la vapeur amenée à la partie inférieure. L'air et les gaz incondensables sont aspirés tout en haut du réservoir.

On conçoit aisément qu'on puisse recourir à diverses modifications pour assurer le ruissellement.

On combine parfois l'emploi de deux condenseurs le second étant plus petit. Ce dernier, qui s'intercale entre la sortie des gaz non condensables du premier condenseur et la pompe à air, forme vase de sureté et assure l'arrivée à la pompe de gaz tout à fait exempts d'eau.

La partie inférieure de la colonne barométrique plonge dans

une bêche contenant de l'eau. La capacité de cette bêche doit être supérieure au volume d'eau contenu dans la colonne barométrique.

Nous avons dit plus haut que l'emploi du condenseur barométrique nécessitait l'emploi d'une pompe à eau qui doit alimenter le condenseur. Cette pompe ou bien déverse l'eau dans un bac situé à la partie supérieure du bâtiment d'où elle s'écoule au condenseur, ou l'envoie directement dans le condenseur.

La consommation d'eau doit être prévue pour une marche normale à raison d'environ 1200 l. d'eau par tonne de betteraves. On peut employer pour l'alimentation en eau du condenseur une pompe quelconque, pompe à cylindres ou pompe centrifuge.

L'élimination des gaz non condensables exige l'emploi d'une pompe dite *pompe à air sèche*. Le travail qu'elle a à effectuer est beaucoup moindre que celui de la pompe humide quand on y a recours (fig. 116 et fig. 117).

On emploie des pompes à tiroir, véritables machines pneumatiques de construction très soignée dans lesquelles les espaces nuisibles sont très réduits. On peut les faire marcher à grande vitesse c'est-à-dire dans des conditions qui réalisent de bons rendements.

On tend à remplacer les pompes à piston par des pompes rotatives. On provoque une condensation dans la pompe même en y faisant arriver en même temps que le mélange de gaz et de vapeur du condenseur, de l'eau prise à un réservoir dans lequel on fait sans cesse arriver l'eau froide. Le refoulement de la pompe arrive à la partie supérieure du réservoir où se fait l'évacuation des gaz non condensables, tandis que l'eau retombe dans le réservoir suivant un cycle continu.

La cuite aussi bien que l'appareil d'évaporation classique nécessite le vide. Au lieu d'avoir deux condenseurs et deux pompes à air on préfère recourir à l'emploi du *vide central*, qui réunit le vide de tous les appareils. Le condenseur est dans ce cas en communication avec un ballon, c'est-à-dire un réservoir de grande capacité auquel sont reliés par des tuyauteries les divers appareils dans lesquels on doit faire le vide. Ce ballon doit être suffisant pour que les variations dues à la mise en marche d'un appareil à vide soient insensibles et ne troublent pas le régime des appareils déjà en service.

L'eau sort habituellement des condenseurs à 45°. Elle sert au lavage des betteraves, à l'alimentation du transporteur hydraulique et parfois à la diffusion. L'excès est utilisé à nouveau pour la condensation, hors le cas où on dispose d'une quantité d'eau illi-

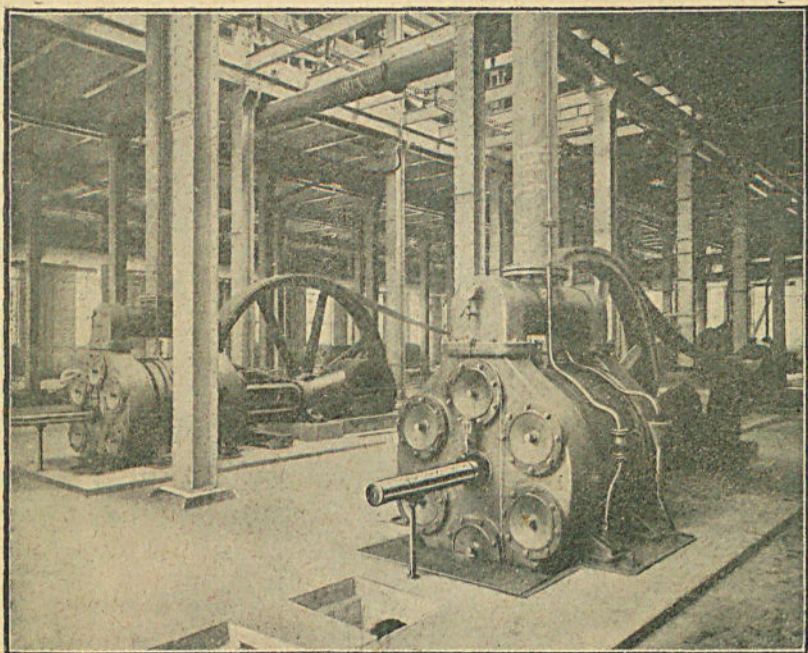


Fig. 117. — Pompes à air de la sucrerie d'Eppeville.

mitée et ne nécessitant pas de dépense de force motrice pour son élévation. Mais c'est là une circonstance exceptionnelle et la plupart des sucreries possèdent un réfrigérant.

C'est un système de charpentes en bois ou en fer supportant des gouttières (formées parfois simplement de deux planches, en V) dans lesquelles circule l'eau. Ces gouttières forment des rangées parallèles distantes de 50 centimètres; elles portent des entailles, à intervalles rapprochés de 25 centimètres environ, par lesquelles s'échappe l'eau qui s'écoule alors sur des planchers à

claire-voie disposés en étages et tombe alors en cascades d'étage en étage ou sur des fascines que supportent ces planchers.

L'eau à refroidir est amenée à une gouttière générale de distribution située tout en haut de la charpente qui la répartit sur les gouttières disposées en rangées. Les pieds des charpentes reposent sur un bassin en maçonnerie où l'eau est recueillie.

On substitue de plus en plus à ces appareils encombrants des réfrigérants entièrement fermés par des planches ; dans ces appareils l'eau arrive sous pression et se refroidit en reprenant à l'air la pression normale.

L'emploi de l'évaporation sous pression compte au nombre de ses avantages de simplifier les installations de condensation et de réfrigération.

Ejecteur-air-condenseur.

On a fait diverses applications en sucrerie d'un appareil dit « Ejecteur-air-condenseur » (Génie civil, 8 mars 1924) pour condenser la vapeur. Selon ses constructeurs cet appareil permet l'obtention d'un vide très supérieur (98 % au lieu de 86 %) à celui qu'on peut obtenir avec les appareils ordinaires. Cet appareil fut primitivement conçu pour résoudre le problème du vide dans les turbines à gaz (fig. 118). En voici le principe sommairement exposé :

Une turbine d'impulsion *c*, entraînée mécaniquement dans un rapide mouvement de rotation, aspire par *b* l'eau d'injection, et la projette à sa périphérie en une multitude de jets ; ceux-ci, franchissant l'espace qui entoure la turbine, rencontrent et condensent les vapeurs arrivant par la tubulure supérieure *a*, entraînent l'air en faisant le vide ; enfin, ils refoulent et compriment le tout entre les deux plateaux éjecteurs *d* débouchant dans un collecteur d'évacuation *e*, qui rejette l'air et l'eau condensée à l'extérieur.

L'appareil joue donc à lui seul le rôle de condenseur et de pompe à air ; il éjecte l'air et la vapeur condensée, d'où sa dénomination. Il a une puissance de condensation considérable sous un très faible volume, et ne comporte qu'un seul organe mobile, la turbine d'impulsion ; il n'est pas déréglable ni désamorçable.

Après la mise au point nécessaire à toute innovation cet

appareil a donné de bons résultats dans diverses sucreries où il est en fonctionnement normal.

ÉVAPORATION SOUS PRESSION

Les chauffages sont d'autant plus économiques que la température de la vapeur avec laquelle on les fait est plus élevée. Aussi un certain nombre d'ingénieurs ont-ils préconisé de recourir

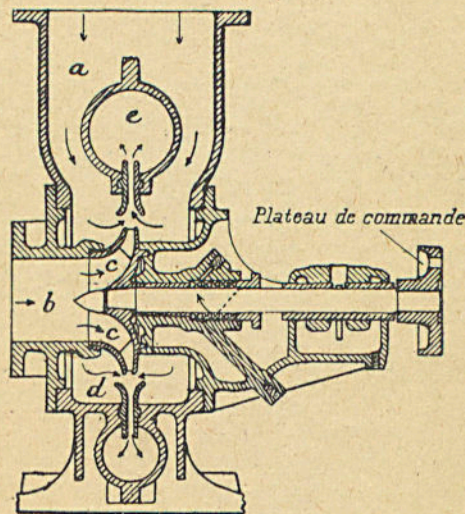


Fig. 118. — Coupe verticale de l'éjecteur-air-condenseur.

à l'évaporation sous pression. C'était là une idée hardie qui bien entendu n'alla pas sans soulever des objections. L'expérience a prononcé favorablement aujourd'hui.

En dehors de l'avantage produit dans le domaine de l'économie de vapeur il faut encore noter en faveur du système d'évaporation sous pression la simplification de l'installation. La pompe à air est supprimée ainsi qu'une notable dépense d'eau pour le condenseur barométrique dont le service est alors limité au vide nécessaire aux cuites.

L'idée d'employer des premiers corps sous pression est loin

d'être neuve d'ailleurs. C'est en 1868 que Cail fit breveter l'idée d'un multiple effet dont les premiers corps travaillent sous pression. Il a fallu que l'idée passât par l'étranger pour se développer en France.

En 1904, Abraham a développé les principes relatifs à l'évaporation sous pression. Kestner grâce à ses appareils à ruissellement en a fait des applications particulièrement heureuses qui montrent l'intérêt pratique de cette solution du problème de l'évaporation en sucrerie.

En réalité les comparaisons faites entre les deux systèmes évaporation sous vide et évaporation sous pression sont difficiles, car les appareils dont on veut mesurer les rendements ne comportent pas des utilisations comparables des calories : on a parfois comparé des appareils sous pression à des appareils à vide envoyant des quantités excessives de vapeur au condenseur.

Par contre dans les comparaisons entre le multiple effet sous vide et des installations d'évaporation sous pression qui aboutissent à montrer l'infériorité de celle-ci, au point de vue de l'utilisation des calories, il faut noter qu'on a admis que le multiple effet n'envoyait pas de vapeur au condenseur. Or c'est là un cas théorique et en fait jamais réalisé.

Il convient enfin d'ajouter à l'actif de l'évaporation sous pression les deux points suivants :

L'évaporation sous pression permet une réduction d'environ 15 % du travail des pompes.

L'évaporation sous pression permet l'alimentation des chaudières avec de l'eau à 115° au lieu de l'effectuer avec de l'eau à 80°. Il y a là une économie qu'on peut traduire par l'évaporation supplémentaire de 400 gr. d'eau par kilog. de charbon.

Mais il ne faut pas se borner à considérer la seule consommation de vapeur, il faut voir aussi le capital engagé dans la construction des appareils. A égalité de dépense de vapeur, l'avantage est alors très marqué en faveur des appareils à évaporation sous pression.

Les résultats ci après publiés par Linsbauer montrent la supériorité du triple effet sous pression sur les appareils fonctionnant sous vide.

Ils sont relatifs à des soutirages respectivement de 105 et 115 litres pour cent kilogs de betteraves.

Par 100 kilog de betteraves

	Consommation de vapeur.	Consommation de charbon.	Consommation de vapeur pour l'évaporation.	Eau évaporée par kilog de vapeur.	Concentration du jus en degrés Br.x.
SOUTIRAGE DE JUS 105 POUR CENT					
1. simple effet	59.5	7.43	13.6	6.0	60°
2. quintuple effet simple avec réchauffeur de jus	57.4	7.17	11.5	7.2	70°
3. sextuple effet simple	55.4	6.92	14.5	6.0	70°
4. quintuple effet simple avec réchauffeur de jus	53.2	6.65	12.3	7.0	
5. quadruple effet compound	51.9	6.48	6.0	13.8	60°
6. quadruple effet compound avec prébouilleur	51.5	6.43	3.1	26.1	60°
7. quadruple effet compound	49.6	6.20	3.7	22.6	60°
8. triple effet sous pression .	45.1	5.63	0.0	0.0	60°
SOUTIRAGE DE JUS 115 POUR CENT					
1. simple effet	65.1	8.13	15.3	6.0	60°
2. quintuple effet simple avec réchauffeur de jus	62.6	7.42	12.8	7.2	60°
3. sextuple effet simple	60.1	7.51	16.1	6.0	70°
4. quintuple effet simple avec réchauffeur de jus	57.7	7.21	13.7	7.0	70°
5. quadruple effet compound	56.5	7.06	6.7	13.8	60°
6. quadruple effet compound avec prébouilleur	55.5	6.93	2.9	31.7	60°
7. quadruple effet compound	54.0	6.75	4.2	22.0	60°
8. triple effet sous pression	49.2	6.15	0.0	0.0	60°

L'auteur signale en outre l'économie de vapeur produite quand on évapore les jus à un degré Brix plus élevé.

	Vapeur consommée pour 100 kgs de betteraves		Charbon consommé pour 100 kgs de betteraves	
	115 l	105 l	115 l	105 l
Soutirage				
Evaporation à 60° B	49, 2	45, 1	6, 55	5, 63
Evaporation à 70° B	43, 7	40, 4	5, 46	5, 05

Il y a évidemment intérêt à pousser l'évaporation dans l'appareil à évaporer, où elle se fait à effet multiple, plutôt que de la faire dans l'appareil à cuire où elle est faite à simple effet.

Le problème de l'évaporation des jus est dominé par l'économie de vapeur. Toutefois la question de la coloration qui est inévitable quand on soumet les jus sucrés à l'action *prolongée* de la chaleur présente aussi un certain intérêt. Cette considération a été mise en avant et a fourni un argument pour retarder la généralisation des chauffages sous pression. Il est bien établi qu'à condition de réaliser une circulation active on peut soumettre les jus à des températures de 120° sans inconvénient.

Il est intéressant de rapporter les chiffres suivants publiés par Linsbauer et Fiser dans *Zeitsch. für der Zuckerind.* Prague 1914, T. XLIX qui ont traité à la comparaison de divers systèmes d'évaporation. Les expériences ont une durée de trois jours dans chacune de ces usines.

L'augmentation de coloration des jus de dernière carbonatation a été la suivante pour les différents types d'appareils.

Quadruple effet (6 corps)	50 %
Quadruple effet avec préévaporateur Kestner(130°)	57
Triple effet sous pression(124°)	59
Quintuple effet simple.....	85
» » » avec prélèvement de vapeur	85
Quadruple effet (8 corps).....	91

Les auteurs concluent nettement que l'augmentation de coloration par l'évaporation sous pression par rapport à l'évaporation sous vide n'est pas une opinion exacte.

Les autres conclusions des auteurs qui peuvent être utilement retenues sont les suivantes.

La coloration de jus de dernière carbonatation a été trouvée la plus faible pour une dose de chaux de 3 % du poids de betteraves et par emploi de la 3^e carbonatation.

CHAPITRE III

CALCUL DES APPAREILS A ÉVAPORER

Généralités.

Les dimensions essentielles des appareils à évaporer sont celles des surfaces de chauffe des différents corps.

On emploie la vapeur produite dans les premières caisses de l'appareil à évaporer pour effectuer les divers chauffages des jus et sirops de l'usine. Aussi les surfaces respectives des divers corps d'un appareil à évaporer ne se déduisent pas simplement de la quantité d'eau totale à évaporer, du nombre des effets de l'appareil et de la température de la vapeur employée.

Nous verrons dans les lignes qui suivent comment on calcule les quantités de vapeur qui doivent être prélevées dans chaque caisse dans les divers cas envisagés.

C'est tout d'abord le problème de la quantité de chaleur à fournir à chaque caisse pour qu'elle effectue le travail auquel elle est destinée qui doit être résolu, *chaque caisse étant considérée comme un générateur de vapeur*, d'ailleurs lui-même chauffé avec de la vapeur, ainsi que nous l'avons montré en parlant de chauffages combinés suivant la méthode due à Rillieux.

Quant au principe même qui doit fixer dans chaque cas particulier, l'emploi de tel ou tel type d'installation : nombre des effets, emploi de préévaporateur, appareil à ruissellement, etc., il ne peut être fixé invariablement ; des considérations fort complexes sont à examiner dans chaque cas, dans lesquelles interviennent le prix du combustible, les capitaux dont on dispose etc. Ce qui importe le plus c'est la rapidité du travail. Les jus soumis moins

longtemps à l'action de la chaleur s'altèrent moins ; ils conservent davantage leur alcalinité. De plus en plus donc, on recherche les installations permettant d'accélérer le travail.

D'ailleurs le calcul seul ne permet pas de résoudre le problème dans son entier, quoi qu'il apporte de sérieuses bases ; des données pratiques expérimentales y sont du plus important secours et la possession de ces données en grand nombre assure seule au constructeur qualifié la possibilité de réaliser des appareils répondant aux conditions requises,

Ajoutons enfin que ce serait une erreur grave de croire qu'il existe une doctrine unique et bien fixée mettant d'accord tous les hommes compétents. Des divergences existent, au contraire, entre eux, touchant certains principes relatifs à l'évaporation et seule l'expérience prolongée permettra de les faire disparaître.

Ce qui justifie assez bien, nous semble-t-il, cette manière de voir, c'est que des usines reconstituées par des ingénieurs particulièrement qualifiés, ou par des firmes très connues, l'ont été, en ce qui concerne les chauffages, selon des méthodes anciennes.

Bases théoriques du calcul des appareils à évaporer.

Pour vaporiser un liquide il faut réaliser les trois phases suivantes :

I. *Echauffer le liquide pour l'amener à la température d'ébullition.*

Il faut lui céder un nombre de calories q fonction de la chaleur spécifique du liquide.

Pour l'eau on a, pour porter la température de 0° à t°

$$q = t + 0,00002 t^2 + 0,0000003 t^3.$$

(Cette quantité de chaleur est dite *chaleur sensible*).

II. *Apporter un certain nombre de calories correspondant au travail d'attraction des molécules.* (Cette quantité de chaleur est dite *chaleur latente interne p.*)

III. Enfin une dernière quantité de chaleur pour effectuer le travail de la vaporisation (dite *chaleur latente externe*).

Si A est l'équivalent calorifique du travail, 424

p la pression et u la différence $V - v$

entre le volume de la vapeur saturée sèche V et le volume du liquide

v à la température d'ébullition, la chaleur latente externe est $A p u$.

On a en résumé :

Chaleur totale = chaleur sensible + chaleur interne + chaleur externe.

$$\lambda = p + q + A p u$$

D'autre part Régnault exprime la chaleur totale par la formule

$$606,5 - 0,635 t + t = \lambda = 606,5 + 0,305 t$$

Les tables de Zeuner que nous reproduisons donnent pour les diverses températures et pressions de la vapeur d'eau les valeurs correspondantes des divers termes de la formule ci-dessus. Elles évitent, pour les applications à envisager dans l'industrie qui nous occupe, de fastidieux calculs.

Lorsque la vapeur se forme au contact de son liquide générateur elle est dite saturée, à condition que la température et la pression soient constantes ; le liquide est en *ébullition*.

Si la pression augmente l'ébullition s'arrête ; si la pression diminue l'ébullition devient tumultueuse ; il y a dans ce cas production brusque d'une grande quantité de vapeur pour que l'équilibre s'établisse.

Lorsque la vapeur n'est pas en contact avec son liquide générateur elle se comporte de manière différente par le fait des changements de température et de pression.

Si on augmente la température de la vapeur on obtient la *vapeur surchauffée*. L'augmentation de température de la vapeur s'obtient de trois manières :

1° Par apport de Calories d'une source extérieure.

2° Par compression c'est-à-dire par apport de travail mécanique extérieur.

Enfin, 3° par détente brusque sans production de travail extérieur ;

Ce dernier mode de production de vapeur surchauffée, sans avoir pour l'industrie qui nous occupe une importance considérable, présente cependant quelques particularités intéressantes sur lesquelles nous aurons à revenir.

Table relative à la vapeur d'eau saturée
(d'après ZEUNER et REGNAULT)

Indication du mano- mètre.	Pression absolue en		Températ. en degrés centigr.	Calori par kilog. de vapeur.				Poids d'un m. c. de vapeur.	Volume de 1 kilog. de vapeur.	
	atmos- phères.	kilog. par mètre carré.		Chaleur du liquide.	Chaleur latente interne.	Chaleur latente externe.	Chaleur totale.			
Vide	0.9	0.1	1,033	46.2	46.3	538.8	35.5	620.6	0.069	4.552
»	0.8	0.2	2,066	60.4	60.6	527.6	36.8	625.0	0.133	7.543
»	0.7	0.3	3,100	69.5	69.7	520.4	37.6	627.7	0.194	5.140
»	0.6	0.4	4,133	76.2	76.5	515.1	38.2	629.8	0.255	3.910
»	0.5	0.5	5,167	81.7	82.0	510.8	38.6	631.4	0.315	3.171
»	0.4	0.6	6,200	86.3	86.7	507.1	39.0	632.8	0.374	2.671
»	0.3	0.7	7,233	90.3	90.7	504.0	39.4	634.0	0.433	2.310
»	0.2	0.8	8,267	93.9	94.3	501.1	39.7	635.1	0.491	2.036
»	0.1	0.9	9,300	97.1	97.5	498.6	40.0	636.1	0.549	1.823
Pression atmosphér.			10,334	100.0	100.5	496.3	40.2	637.0	0.606	1.650
» +0.1	1.1	1.1	11,367	102.7	103.2	494.2	40.4	637.8	0.663	1.509
»	0.2	1.2	12,400	105.2	105.7	492.2	40.6	638.6	0.719	1.399
»	0.3	1.3	13,434	107.5	108.1	490.4	40.8	639.3	0.776	1.289
»	0.4	1.4	14,467	109.7	110.3	488.6	41.0	639.9	0.832	1.202
»	0.5	1.5	15,501	111.7	112.4	487.0	41.2	640.6	0.887	1.127
»	0.6	1.6	16,534	113.7	114.4	485.5	41.3	641.2	0.943	1.060
»	0.7	1.7	17,567	115.5	116.3	484.0	41.5	641.7	0.998	1.002
»	0.8	1.8	18,601	117.3	118.1	482.6	41.6	640.8	1.053	0.949
»	0.9	1.9	19,634	119.0	119.8	481.3	41.7	642.8	1.108	0.902
»	1.0	2.0	20,668	120.6	121.4	480.0	41.9	643.3	1.163	0.859
»	1.5	2.5	25,835	127.8	128.7	474.3	42.4	645.5	1.434	0.697
»	2.0	3.0	31,002	133.9	135.0	469.5	42.9	647.3	1.702	0.587
»	2.5	3.5	36,169	139.2	140.4	465.3	43.3	649.0	1.968	0.508
»	3.0	4.0	41,336	144.0	145.3	461.5	43.6	650.4	2.230	0.448
»	3.5	4.5	46,503	148.3	149.7	458.1	43.9	651.7	2.491	0.401
»	4.0	5.0	51,670	152.2	153.6	455.0	44.2	652.9	2.750	0.364
»	4.5	5.5	56,837	155.8	157.5	452.0	44.4	654.0	3.007	0.332
»	5.0	6.0	62,004	159.2	160.9	449.5	44.5	655.7	3.263	0.306
»	5.5	6.5	67,171	162.4	164.2	447.0	44.9	656.0	3.518	0.284
»	6.0	7.0	72,338	165.3	167.2	444.6	45.1	656.9	3.771	0.265
»	6.5	7.5	77,505	168.1	170.1	442.4	45.2	657.7	4.023	0.249
»	7.0	8.0	82,672	170.8	172.9	440.3	45.4	658.6	4.274	0.234
»	7.5	8.5	87,839	173.3	175.5	438.3	45.6	659.4	4.525	0.221
»	8.0	9.0	93,006	175.8	178.0	436.4	45.7	660.2	4.774	0.209
»	8.5	9.5	98,173	178.1	180.4	434.5	45.9	660.8	5.023	0.199
»	9.0	10.0	103,340	180.3	182.7	432.8	46.0	661.5	5.270	0.190
»	9.5	10.5	108,507	182.4	184.9	431.1	46.1	662.1	5.517	0.181
»	10.0	11.0	113,674	184.5	187.1	429.5	46.2	662.8	5.764	0.173

Transmission de la chaleur à travers une paroi.

Ce qui caractérise le chauffage en sucrerie c'est l'emploi de la vapeur d'eau comme véhicule transmetteur du calorique. Nous examinerons donc avec quelque détail ce qui se passe dans le chauffage d'un liquide par la vapeur.

Qu'il s'agisse du chauffage par une chaudière à double paroi, comme dans les appareils primitifs ou d'un appareil tubulaire moderne, le principe est le même et nous devons envisager la trans-

mission de la chaleur d'une enceinte à température T à une enceinte à température θ , séparées par une paroi à faces parallèles, AA' , BB' , d'épaisseur e (fig. 119).

Nous devons supposer le régime établi c'est-à-dire que la quantité de chaleur reçue par la face AA' est précisément égale à celle émise par la face BB' . Si M est la quantité de chaleur transmise dans le temps x et ta et tb les températures, d'ailleurs inconnues, des deux parois on aura pour la surface S :

$$M = S K (T - ta) x$$

K étant un coefficient de transmission.

La même quantité de chaleur traverse la paroi ; si C est le coefficient de conductibilité du métal on aura :

$$M = S \frac{C}{e} (ta - tb) x$$

Enfin pour la transmission de la chaleur de la paroi à la nouvelle enceinte à température θ , à laquelle correspond un nouveau coefficient de transmission K' on a :

$$M = S K' (tb - \theta) x$$

En mettant ces équations sous la forme

$$M \frac{1}{K} = S (T - ta) x$$

et les additionnant membre à membre on a :

$$M \left(\frac{1}{K} + \frac{e}{C} + \frac{1}{K'} \right) = S (T - \theta) x$$

Si on remplace par un seul coefficient $\frac{1}{q}$ la somme :

$$\frac{1}{K} + \frac{e}{C} + \frac{1}{K'}$$

on aura

$$M \frac{1}{q} = S (T - \theta) x$$

On voit que nous avons éliminé les températures propres des parois ; nous ne considérons que $T - \theta$ ou *chute de température*. Si nous faisons cette valeur égale à 1, de même que la surface et le temps nous aurons $M = Q$.

Q est alors le nombre de calories transmises par heure, par mètre carré de surface de chauffe et par degré de chute de température.

Ce nombre est le total des chutes partielles, qu'il convient maintenant d'examiner successivement afin de pouvoir déterminer l'influence relative des divers coefficients :

Il y a lieu de noter que la quantité d'eau évaporée dans l'unité de temps est la même dans les diverses caisses de l'appareil à multiple effet lorsque l'appareil sert uniquement à l'évaporation du jus. Mais comme dans la pratique moderne il sert en outre à des chauffages, la quantité d'eau à évaporer est variable. Chaque surface de caisse devra donc faire l'objet d'un calcul particulier

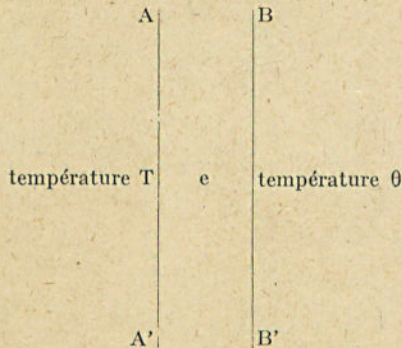


Fig. 119. — Transmission de la chaleur à travers une paroi.

Les éléments de ce calcul seront, outre la quantité d'eau à évaporer, la chute de température et le coefficient de transmission de la chaleur selon la formule générale

$$Q = K S (T - \theta).$$

dans laquelle T est la température de la vapeur
 θ — — — — — du liquide.

Nous étudierons les divers éléments dont dépend K. Nous en avons d'ailleurs déjà donné un aperçu dans l'exposé des principes généraux de la transmission de la chaleur dans les appareils à évaporer. (Voir page 305).

1° *Transmission de la chaleur de la vapeur à la surface de la paroi.* — En se condensant, la vapeur laisse une couche d'eau qui y adhère. Des expériences directes (par pesée d'un tube humide et du même tube sec) montrent que l'épaisseur de la couche d'eau est d'environ deux dixièmes de millimètre. Nous avons précédemment montré l'importance de ce fait. On ne saurait trop y insister, et en tenir compte pour assurer la purge des appareils et éviter les entraînements d'huile qui empêchent le mouillage facile. Ajoutons que le rendement d'un appareil est d'autant meilleur que le métal des surfaces chauffantes est mieux décapé.

La température ou la pression de la vapeur de chauffage a une grande influence. C'est ce facteur qui est la cause de la différence de chute de température des diverses caisses de l'appareil à multiple effet à caisses égales qui théoriquement devrait être constante.

La présence des gaz incondensables dans la vapeur diminue sensiblement le coefficient de transmission de la chaleur. Cette propriété joue un grand rôle dans le fonctionnement des appareils à vide, dans lesquels les rentrées d'air sont inévitables ; et d'ailleurs nous avons vu que le jus dégage des gaz. L'évacuation des gaz doit donc se faire soigneusement.

La vapeur humide donne un rendement notablement inférieur à celui de la vapeur sèche à une même pression. La vapeur humide contient en effet des vésicules comportant une enveloppe liquide. Celle-ci se refroidit au contact de la paroi où doit se faire la condensation, puis se réchauffe. C'est en somme un chauffage par l'intermédiaire d'un liquide. Il y a lieu de noter ici que la vapeur surchauffée se comporte comme un gaz. Si on la met au contact d'une paroi condensante elle se refroidit jusqu'au moment où elle arrive à une température qui correspond à son point de saturation. C'est alors seulement qu'elle réalise les conditions convenables pour un chauffage par condensation. Normand (*Bull. de la société des Ing. civils*, 1890) a montré que quelques degrés seulement de surchauffe augmentaient dans le rapport de 1 à 20 le temps de condensation. En somme on doit faire le chauffage à la vapeur, pour obtenir le maximum de pouvoir d'évaporation, avec de la vapeur se rapprochant autant que possible de la vapeur saturée sèche.

2° *Transmission de la chaleur à travers la paroi.* — La nature du métal et son épaisseur ont une influence qui en pratique n'a pas l'importance prépondérante qu'on pourrait leur supposer tout d'abord. La valeur $\frac{1000 e}{C}$ est le plus faible des trois éléments dont la somme forme le coefficient de transmission.

Pour une épaisseur de 2 mm, $C = 116$ pour le laiton et 362 pour le cuivre.

Pour le cuivre et le laiton, l'influence de e est faible. Il n'en est pas tout à fait de même pour le fer. Mais la conductibilité et l'épaisseur de la paroi influencent peu la puissance d'évaporation,

au regard des incrustations, puisque la conductibilité de l'incrustation calcaire est 40 fois moindre que celle du laiton et celle de l'incrustation siliceuse 80 fois moindre.

3° *Transmission de la chaleur de la paroi au liquide.* — C'est là l'élément essentiel de la question qui nous occupe.

Les expériences classiques de Péclet ont montré qu'il faudrait renouveler le contact du liquide avec la surface chauffante 1.600 fois par minute pour obtenir le véritable pouvoir transmissif du métal. En chauffant de l'eau dont la vitesse de déplacement était nulle, Péclet obtenait une transmission de 500 calories tandis qu'il obtenait une transmission de 4000 calories en donnant à l'eau une vitesse de 1 m. 10 par seconde.

Ces chiffres n'ont pas d'emploi direct dans le calcul des appareils industriels ; ils montrent cependant l'exceptionnelle importance de la circulation des liquides.

La quantité de liquide évaporé, toutes choses égales d'ailleurs, par une surface de chauffe donnée, est inversement proportionnelle au volume spécifique de la vapeur de chauffage.

Horsin-Déon donne l'explication de ce fait par les considérations suivantes :

Le volume d'un poids donné de vapeur dépend de l'écartement de ses molécules ; les molécules d'une vapeur dont le volume spécifique est double de celui d'une autre, mettent deux fois plus de temps que celles de cette dernière pour arriver au contact de la paroi condensante, les molécules de l'une et de l'autre étant sollicitées par la même différence de pression, puisque l'espace qui sépare les molécules est deux fois plus grand dans un cas que dans l'autre et qu'enfin, puisque le temps de la condensation est le double, il y faudra, pour faire le même travail dans le même temps, ou une chute de température double ou une surface de chauffe double.

Horsin-Déon a déduit cette remarque importante de l'observation directe d'une série d'appareils à triple effet. Il observa que dans des appareils à caisses égales quant à leur surface de chauffe et identiques, les chutes de température étaient inversement proportionnelles au volume du kilogramme de vapeur de chauffage.

La différence de pression agit encore dans le même sens en dehors de la considération théorique ci-dessus indiquée pour la raison suivante : la vapeur à pression élevée, à supposer que les

purges soient bien établies, chasse rapidement l'eau de condensation ce que ne fait pas aussi bien la vapeur à basse pression.

Observons qu'en pratique, il y a une très grande différence quant au renouvellement des surfaces entre l'eau ou un liquide quelconque et une paroi, suivant qu'il y a ou non ébullition au sein de ce liquide. Dans le cas d'ébullition en effet des bulles de vapeur se produisent au contact de la paroi dont elles se dégagent rapidement pour faire place à une nouvelle quantité de liquide. Ceci est à considérer pour le calcul des réchauffeurs, que nous aurons à envisager plus loin.

La nature du liquide à évaporer a une importance considérable. Plus en effet sa densité est grande, moindre est la vitesse qu'il peut prendre sous une même action mécanique.

La viscosité augmente avec la densité pour les mêmes substances en dissolution. Mais, de plus, certaines substances particulièrement visqueuses peuvent intervenir et diminuer la transmission de la chaleur. On l'observe nettement avec des jus sucrés qui contiennent des matières pectiques.

On est frappé au contraire de la facilité d'évaporation des sirops obtenus par la dessiccation des cossettes dans lequel les matières pectiques ont été soigneusement insolubilisées.

La hauteur du liquide au dessus de la surface de chauffe joue un rôle très notable dans le sens de la diminution de la puissance d'évaporation. Aussi a-t-on soin dans les appareils d'évaporation de laisser un très faible niveau de liquide au dessus des corps tubulaires. On peut dire qu'il est possible de conduire un appareil d'évaporation ordinaire de façon à le placer presque dans les conditions d'un appareil à ruissellement.

Coefficients de transmission.

En présence du grand nombre de facteurs qui interviennent dans la transmission des calories dans les appareils d'évaporation, il est impossible de déterminer par le calcul les coefficients de transmission.

Pour l'établissement des appareils, on a recours à des coefficients pratiques déterminés par l'expérience.

On peut considérer comme des données fondamentales fixant les idées, les chiffres expérimentaux suivants :

Avec un serpentín en cuivre chauffant de l'eau en ébullition, ayant une longueur assez faible pour que l'évacuation de l'eau condensée se fasse bien, le coefficient de transmission est de 5.000 calories par heure, par mètre carré de surface et par degré de chute.

La même surface sous forme de double fond donnerait une transmission moitié moindre.

Avec des surfaces tubulaires, pour le chauffage de l'eau à l'ébullition, on a une transmission de 2500 à 2000 calories avec de la vapeur à 2 à 3 kilos.

Les différents auteurs donnent des valeurs, pour ces coefficients pratiques, qui s'éloignent peu des chiffres suivants qu'on peut considérer comme des moyennes d'une approximation suffisante, pour le cas courant d'un quadruple effet avec préévaporateur :
Calories transmises par mètre carré par degré de chute. Par heure. Par minute.

Préévaporateur	50	3000
I	45	2700
II	30	1800
III	20	1200
IV	20	720

Pour un triple effet ordinaire, on aurait :

Calories transmises par mètre carré par degré de chute. Par heure. Par minute.

I	45	2700
II	32	2000
III	15	900

Chute de température $t - \theta$

Nous rappelons que t est la température de la vapeur de chauffage et θ est la température du liquide. La chute totale sera la différence entre la température de la vapeur chauffant le premier corps et la température de la vapeur de jus du dernier. Si on répartit cette chute également entre les 4 corps d'un quadruple effet, et si on chauffe avec de la vapeur d'échappement à 110° qu'on marche avec un vide de 62 cm correspondant à 58° les chutes partielles seront $110, 5 - 58 = 13^\circ$.

En réalité la chute véritable sera un peu différente de ce chiffre. C'est qu'en effet quand on fait bouillir de l'eau ou un liquide

constitué par une espèce chimique dont la composition ne se modifie pas du fait de l'ébullition, la température de la vapeur est la même que celle du liquide qui la produit. Il n'en est pas de même dans le cas de jus sucré dont la température d'ébullition augmente du fait de la concentration. D'autre part la pression exercée par le liquide, dont il y a toujours une certaine hauteur, produit une surchauffe du liquide. Le calcul ne permet pas de déterminer exactement quelle sera la chute utile ; ce qui est établi c'est que la différence entre la chute apparente et la chute utile est d'autant moindre que le niveau du liquide à évaporer est maintenu plus bas. Cette perte de chute est naturellement d'autant plus grande que le liquide évaporé est plus épais ; elle augmente donc pour chacun des corps. La valeur de la chute théorique de 13°, que nous avons indiquée, devra, pour donner la chute réelle, être diminuée des valeurs approximatives suivantes :

Préévaporateur : 1°, 1^{er} corps : 1°, 5 ; 2^e corps : 2°, 3^e corps : 2°, 5 ; 4^e corps : 3°, soit, au total, une perte de chute de 10°.

Ce sont les chutes réelles ainsi déterminées que nous appliquerons pour le calcul de la surface des diverses caisses.

M. Ernotte (*Journal des Fabricants de sucre*, 22 nov. 1926.) donne, d'après M. Constant, une indication sommaire, commode pour la pratique, qui s'applique au quadruple effet avec avant-corps ou un quintuple effet :

Vapeur condensée par heure,	1 ^{er} effet	II ^e effet	III ^e effet	IV ^e effet	V ^e effet
Degré de chutes et m. carré	5 kgrs	4 kgrs	3 kgrs	2 kgrs	1 kgrs

Cette donnée montre bien la relation entre les divers corps, en ce qui concerne les coefficients de transmission.

Méthode pratique pour le calcul des surfaces de chauffe des appareils.

On calcule séparément la surface de chauffe de chaque corps de l'appareil à évaporer.

Il faut tout d'abord déterminer la quantité d'eau qui doit être vaporisée dans chaque corps.

La vapeur d'un corps d'un appareil d'évaporation évapore théoriquement dans le corps suivant un poids de vapeur un peu supérieur à son propre poids.

D'autre part, il y a auto-évaporation du liquide, par son passage d'une caisse dans l'autre, puisque la température d'ébullition dans la seconde caisse est inférieure à celle du liquide qui y arrive.

L'auto-évaporation met en liberté des quantités de chaleur qui sont loin d'être négligeables et tendent à augmenter le rendement des appareils en même temps qu'augmente le nombre des effets.

M. Emile Saillard a calculé pour le cas du quintuple effet le nombre de calories mises en liberté par chacune des 4 répétitions du phénomène qui se produisent :

Du 1 ^{er} dans le 2 ^e corps	651	} Calories par 100 kilos de betteraves
— 2 ^e 3 ^e	533	
— 3 ^e 4 ^e	293	
— 4 ^e 5 ^e	793	
Ensemble	2270	

Les évaporations *théoriques* par kilogr. de vapeur sont donc, pour les différents nombres d'effets qu'il faut couramment envisager :

Double effet	Triple effet	quadruple effet	quintuple effet
		1 k	1 k
		1, 087	1, 085
	1 k	1, 157	1, 137
1 k	1, 088	1, 258	1, 281
1, 126	1, 205	1, 258	1, 302
<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
2, 126	3, 293	4, 502	5, 805

Mais en pratique, par suite de la perte de chute réelle de température et autres causes secondaires de pertes, les évaporations réelles sont en kilogrammes les chiffres indiqués ci-dessous avec les pertes correspondantes.

	Evaporation	Pertes	
		par kilo	%
Double effet	1, 90	0, 226	11, 8
Triple effet	2, 85	0, 443	15, 5
Quadruple effet	3, 79	0, 712	18, 7
Quintuple effet	4, 72	1, 085	23, 0

Détermination du poids de l'eau à évaporer. — Chacun des corps produit une quantité de vapeur nécessaire au chauffage du corps suivant et au chauffage d'un autre appareil s'il y a lieu.

On a recours à diverses combinaisons pour l'emploi de ces chauffages. Bien entendu, les chauffages exigeant de la vapeur à température relativement élevée seront faits avec de la vapeur

prélevée sur le premier corps de l'appareil d'évaporation ; parfois même sur le préévaporateur, s'il y en a un.

C'est ainsi qu'on effectue avec la vapeur ainsi prélevée, le chauffage du *bouillisseur* de jus.

On fait aussi généralement le prélèvement de vapeur sur le premier corps pour le chauffage de la diffusion, non parce qu'une température élevée est nécessaire mais parce que l'emploi d'une vapeur chaude permet de diminuer la surface de chauffe des calorificateurs et, comme conséquence, le volume du jus qu'ils contiennent et qui représente un espace mort à la diffusion.

On prélève enfin, dans le premier corps, une partie de la vapeur nécessaire aux cuites.

Dans le deuxième corps, s'il s'agit d'un quadruple effet, on prélèvera la vapeur pour les jus avant carbonatation et la vapeur pour chauffage des sirops avant filtration.

Dans le troisième corps, on prendra la vapeur pour le chauffage de l'eau allant à la diffusion.

Diverses combinaisons de chauffage peuvent être envisagées et nous donnons celle-ci à titre d'exemple.

Pour savoir de quelle quantité de chaque sorte de vapeur on aura besoin, et par conséquent la quantité d'eau à évaporer dans le corps qui la fournit on calculera d'abord la quantité de calories à employer.

Nous donnons à titre d'exemple le calcul de quelques-unes de ces quantités de chaleur : les chiffres indiqués n'ont d'ailleurs rien d'absolu, et ils varient avec diverses particularités de travail ou d'installation.

Chauffage de la diffusion.

La température moyenne des cossettes à la sortie du coupe-racines est habituellement comprise entre 10 et 15°. Celle de l'eau est très variable, selon le mode de travail. Nous supposerons les éléments entrés à la température moyenne de 15°, et nous prendrons 0,9 pour la valeur de la chaleur spécifique de la cossette.

Pour 100 kg de cossettes nous admettrons que le total des eaux employées à la diffusion est de 200 litres.

En ce qui concerne les produits sortants, un soutirage moyen de 110 litres correspond sensiblement à 115 kilos de jus. Les jus de diffusion sont à la température moyenne de 40°, les pulpes et les eaux de vidange seront en moyenne à 20° ; l'ensemble des produits résiduels peut être considéré comme ayant une chaleur spécifique égale à l'unité et le chiffre de 0,9 peut être pris pour chaleur spécifique du jus de diffusion.

Dans ces conditions le bilan des calories pour 100 kilos de betteraves s'établira ainsi :

Entrées		Sorties	
Cossettes	$100 \times 15 \times 0,9 = 1350$	Jus	$115 \times 40 \times 0,9 = 4140$
Eau	$200 \times 15 = 3000$	Pulpes	$90 \times 20 = 1800$
		Eaux	$95 \times 20 = 1900$
300	4350	Pertes par rayonnement 10 %	7840
			784
			8624
			4274
Différence à fournir par le chauffage			

Ce chiffre peut comporter des variations de 10 % en plus ou en moins selon la température de sortie et d'entrée des eaux, la température ambiante, la nature des calorificateurs, etc.

Chauffage des jus et sirops.

Les divers chauffages de jus peuvent s'établir ainsi :

Jus brut.

Le jus sortant de la diffusion à 35-40° doit être porté à 80 ou 85° pour être carbonaté.

La chaleur spécifique étant 0,9 le nombre de calories est

$$115 \times (80 - 40) \times 0,9 = 4.140 \text{ cal.}$$

Jus avant 2° carbonatation. Il doit être porté à 90°. Il s'est refroidi pendant la filtration aux environs de 70°. Les eaux de lavage des écumes y étant ajoutées son poids est devenu environ 130 kilos ; le nombre de calories nécessaires est donc devenu :

$$130 \times (90 - 70) \times 0,9 = 2340 \text{ cal.}$$

Jus avant bouillissage.

Nous avons vu que le jus à sa sortie des presses de deuxième carbonatation doit être porté à 100°. Il s'est refroidi à 80°. La dépense de calories sera pour le bouillissage.

$$130 \times (100 - 80) \times 0,9 = 2340 \text{ cal.}$$

Chauffage du sirop.

Le sirop étant supposé à 30° Bé ou 55° Brix, on en aura 30 kilos pour 100 kilos de betteraves. Sa température à la sortie de l'appareil est évidemment très variable, selon le régime de l'appareil d'évaporation. En supposant que la température dans le dernier corps soit à 60°, il doit être réchauffé avant d'être filtré, à la température de 90°. Sa chaleur spécifique étant 0,6, il faudra lui céder : $30 \times (90 - 60) \times 0,6 = 540$ calories.

Chauffage des appareils à cuire

Pour le *chauffage de la cuite*, nous aurons à effectuer le calcul suivant :

Il faut obtenir par exemple une température de 80° ; on produit par 100 kilogs de betteraves, 30 kilogs de sirops, qui contiennent 16,5 kilogs de matière sèche qu'il faut amener à l'état de masse cuite, contenant 8 % d'eau, soit 17,9 kilogs de masse cuite. Il y aura donc à évaporer 30,0 — 17,9 = 12,1 kilogs d'eau.

Etant donné que nous ferons cette évaporation (en supposant que la cuite soit faite en simple effet) avec de la vapeur à 88°, la quantité de calories nécessaire, donnée par la formule :

$$C = P \times 606,5 - 0,7 t$$

sera :

$$12,1 \times 606,5 = 6.594 \text{ cal.}$$

Selon le mode de travail, comportant des rentrées d'égouts variables, il faudra majorer cette quantité d'eau à évaporer, d'une quantité plus ou moins grande. D'autre part on n'envisage habituellement pas l'alimentation de l'appareil à cuire entièrement avec de la vapeur de jus, l'adjonction d'une quantité de vapeur d'échappement ou de vapeur directe étant prévue. En tenant compte de ces différentes conditions on déterminera donc assez approximativement le nombre de calories à emprunter à la première caisse pour le service des appareils à cuire.

En résumé, avec toutes les réserves à faire quant à la valeur propre de ces chiffres, en raison des diverses conditions de travail et des pertes par rayonnement, on obtient le tableau suivant pour l'ensemble des chauffages à effectuer avec des vapeurs à prélever sur l'évaporation pour 100 kilos de betteraves :

	Calories	Température à atteindre
Diffusion	4275	80°
Chauffage jus brut	4140	80
Avant 2° carb.	2340	90
Bouillissage	2340	100
Sirops avant filtration	540	90
Cuites	6600	80
	<hr/> 20235	

Ces différents chauffages seront faits, suivant le régime de l'évaporation, avec des vapeurs prélevées sur tel ou tel corps. Donc suivant ce régime, les dimensions respectives des diverses caisses varieront.

Quantités de vapeur à prélever sur chacune des caisses.

Quels que soient les modes de chauffage on déterminera les quantités des calories C_1, C_2, C_3, \dots à emprunter aux vapeurs des différents corps concourant aux chauffages.

Pour déterminer le poids d'eau à vaporiser par chacun des corps pour satisfaire tout d'abord à ces prélèvements, nous appliquerons la formule :

$$P = \frac{C}{606,5 - 0,7 t}$$

p étant le poids d'eau, t étant la température de la vapeur considérée.

Nous aurons ainsi les quantités d'eau à évaporer $p_1, p_2, p_3...$ correspondant aux prélèvements respectifs, pour les chauffages.

Il nous faut maintenant déterminer la quantité d'eau totale à évaporer par chaque corps de l'appareil.

Le dernier corps, n'ayant à faire face à aucun prélèvement, évapore seulement la quantité d'eau e sous forme de vapeur allant au condenseur. Supposons le cas d'un quadruple effet, la troisième caisse, dans laquelle on fait les prélèvements p_3 évaporera

$$p_3 + e$$

La deuxième caisse, qui fait l'objet des prélèvements p_2 , évaporera

$$p_2 + e + p_3 + e$$

La première caisse, qui fait l'objet des prélèvements p_1 , évaporera :

$$\underbrace{p_1 + e}_{(1^e)} + \underbrace{p_2 + e}_{(2^e)} + \underbrace{p_3 + e}_{(3^e)} + e_{(4^e)}$$

Si nous appelons E l'évaporation totale, et si nous appelons π la somme des prélèvements partiels $p_1 + p_2 + p_3...$ nous aurons

$$E = 4e + \pi$$

d'où nous tirons

$$e = \frac{E - \pi}{4}$$

Si n est le nombre d'effets, la même formule est applicable en remplaçant 4 par n .

Nous connaissons bien entendu E , puisque nous savons la quantité d'eau contenue dans le jus et la quantité d'eau restant dans le sirop.

Nous connaissons ainsi e , et, ajoutant, à ce poids d'eau les poids p_3, p_2, p_1 , nous avons les poids évaporés dans chaque caisse. Ce sont ces valeurs qui nous serviront à calculer les surfaces des caisses.

Calcul des surfaces de chauffe.

Pour la détermination de la surface de chauffe S à donner à tout l'appareil à évaporer on utilise la formule générale suivante.

$$S = \frac{P\rho + q}{K(T - \theta)}$$

dans laquelle P est le poids d'eau à évaporer par heure.

ρ la chaleur latente interne de la vapeur d'eau à la température d'ébullition du liquide à chauffer.

q le nombre de calories nécessaires pour porter le liquide à la température d'ébullition.

T la température de la vapeur servant au chauffage

θ la température du liquide.

Enfin K est le coefficient pratique dont nous avons parlé précédemment, en nous efforçant de montrer les divers éléments qui influent sur sa valeur.

Nous pouvons faire de suite l'observation suivante : sauf pour le premier corps, nous introduisons le jus à une température voisine de son point d'ébullition ; nous pouvons alors négliger q . Dans le premier corps elle sera facile à calculer ; elle est, pour un poids P de jus à porter de t_0 à t_1 (t_0 étant la température du jus entrant et t_1 la température de la vapeur à produire), la chaleur spécifique étant prise égale à l'unité, $P(t_1 - t_0)$. Mais en réalité, même dans le 1^{er} corps, le jus préalablement réchauffé est à une température voisine de l'ébullition.

Les différentes valeurs de ρ seront données par la formule

$$\rho = 606,5 - 0,7 t$$

t étant la température de la vapeur de chauffage du corps considéré.

Exemples numériques

Supposons le cas d'un quadruple effet avec préévaporateur dans lequel s'effectuent les prélèvements de vapeur nécessaires aux chauffages suivants :

Par le préévaporateur.

a) Pour le jus de 2^e carbonatation avant son entrée à l'appareil d'évaporation, soit 130 l. de liquide, de chaleur spécifique 0,9 à élever de 97 à 110°.

$$130 \times 0,9 \times 13 = 1521.$$

En admettant que la vapeur cède 540 calories on aura une quantité de vapeur à fournir égale à $\frac{1872}{540} = 2,8$

b) Pour le jus du bouillisseur soit 130 l. à porter de 94 à 100°

$$130 \times 0,9 \times 6 = 702; \frac{702}{540} = 1,3$$

Le préévaporateur, en dehors de la quantité de vapeur à fournir à la 1^{re} caisse devra donc satisfaire au prélèvement de 4 k, 1.

Par la 1^{re} caisse :

a) Pour le jus allant à la 1^{re} carbonatation : 130 l. à chauffer de 85 à 100°.

$$130 \times 0,9 \times 15 = 1755; \frac{1755}{540} = 3,3$$

b) Pour le jus de 2^e carbonatation allant au bouillisseur, à chauffer de 87 à 100°

$$130 \times 0,9 \times 13 = 1521, \frac{1521}{540} = 2,8$$

c) Pour les cuites ; nous pouvons admettre que 130 kilos de jus provenant de 100 kilos de betteraves donnent environ 30 kilos de sirop à 60 Brix et que ce sirop doit être amené à l'état de masse cuite à 92 Brix.

Les quantités de chaleur à fournir se décomposent ainsi :

1° porter le sirop de 65° à 100°, température de cuisson ; la chaleur spécifique étant 0,6 on a :

$$30 \times 0,6 \times 35 = 630 ; \frac{630}{540} = 1 \text{ k, } 20.$$

2° Enlever l'eau pour amener à 92 Brix. La quantité de matière sèche est de 18 kilos. Il y a donc 30 — 18 = 12 kilos d'eau. Les 18 kilos de matière sèche donneront 19 k, 5 de masse cuite. L'eau à enlever est la différence :

30 — 19,5 = 10 k, 5 d'eau. La cuite faite à simple effet nécessite une

quantité de vapeur de : $\frac{10,5}{0,95} = 11 \text{ kgs.}$

La 1^{re} caisse aura donc à fournir une quantité de vapeur

3 k, 3 + 2 k, 8 + 1 k, 2 + 11 k = 18 k, 3, en dehors des vapeurs à fournir, pour l'évaporation dans la 2^e caisse.

Par la 2^e caisse :

a) Pour le jus de 1^{re} carbonatatoïn à chauffer de 74° à 90°

$$130 \times 0,09 \times 16 = 1872 ; \frac{1872}{540} = 3 \text{ k, } 5.$$

b) Pour le jus brut à chauffer de 50 à 80°.

$$113 \times 0,9 \times 30 = 3051 ; \frac{3051}{540} = 5 \text{ k } 7$$

La 2^e caisse aura donc à fournir 9 k, 2. de vapeur en plus de la vapeur pour la 3^e caisse.

La 3^e et la 4^e caisse ne faisant pas de chauffages doivent fournir seulement la quantité de vapeur x allant au condenseur.

Nous pouvons calculer cette quantité et par suite la quantité de vapeur totale à produire par chaque corps.

Nous aurons en effet pour les vapeurs produites :

4 ^e caisse	x
3 ^e caisse	x
2 ^e caisse	$x + 9,2$
1 ^e caisse	$x + 9,2 + 18,3$
Prévaporateur	$x + 9,2 + 18,3 + 4,1$

La vapeur totale serait donc $5x + 27,6 + 36,6 + 4,1$

En réalité le prévaporateur n'a pas à fournir cette quantité de vapeur, car il ne produit pas la totalité du chauffage de 1^{er} corps dans lequel on introduit de la vapeur d'échappement

Si nous prenons, suivant une donnée pratique, le chiffre de 20 k par 100 kilos de betteraves nous aurons en réalité à demander au prévaporateur, 20 kilos de moins que la quantité sus indiquée.

Si on admet qu'il faut enlever 100 kilos d'eau à l'évaporation par 100 kilos de betteraves on a donc

$$5x + 27,6 + 36,6 + 4,1 - 20 = 100 \text{ k.}$$

$$\text{d'où } 5x = 51,7 \text{ et } x = 10,3$$

Si nous appliquons à cet exemple la formule ci-dessus énoncé :

$$S = \frac{P \rho}{K (t - \theta)}$$

Nous aurons pour chacune des caisses.

1^o Quantité d'eau P pour 100 kilos de betteraves à évaporer par chaque caisse.

Préévaporateur	21 k, 9
1 ^{re} caisse	37, 8
2 ^e caisse	19, 5
3 ^e caisse	10, 3
4 ^e caisse	10, 3

2^o *Valeurs de ρ* . Les températures d'ébullition des jus étant respectivement 115°, 107°, 97°, 85°, et 62° du préévaporateur au dernier corps on a par application de la formule

$$(606, 5 - 0, 7 \times t) = \rho$$

les valeurs suivantes :

Préévaporateur	520
1 ^{re} caisse	531, 6
2 ^e caisse	538, 6
3 ^e caisse	547
4 ^e caisse	563

3^o *Chutes de températures*. — Nous prendrons comme température de la vapeur d'échappement 125°. Dans ces conditions nous aurons pratiquement les chutes de températures suivantes :

Préévaporateur	125 — 115 = 10
1 ^{er} corps	115 — 107 = 8
2 ^e corps	101 — 97 = 10
3 ^e corps	97 — 85 = 12
4 ^e corps	85 — 62 = 23

4^o *Coefficients de transmission*. — Nous devons faire intervenir le temps pendant lequel s'effectuera le travail d'évaporation correspondant à 100 kilos de betteraves travaillées. Supposons ce temps de 1 minute. Nous exprimons la surface en mètres carrés ; nous prendrons donc pour la valeur du coefficient K le nombre de calories par degré de chute par mètre carré par minute.

Nous prendrons les valeurs suivantes :

préévaporateur	50
1 ^{re} caisse	40
2 ^e caisse	30
3 ^e caisse	25
4 ^e caisse	12

Les surfaces de chauffe seront donc :

préévaporateur	$\frac{21,9 \times 520}{50 \times 10} = 22 \text{ m}^2$
1 ^e caisse	$\frac{37,8 \times 531,6}{40 \times 8} = 65,8$
2 ^e caisse	$\frac{19,5 \times 538,6}{30 \times 10} = 35,3$
3 ^e caisse	$\frac{10,3 \times 543}{25 \times 12} = 18,6$
4 ^e caisse	$\frac{10,3 \times 563}{12 \times 23} = 21,0$

Si nous considérons une usine de type moyen de 600 tonnes de betteraves travaillées par 24 heures, soit par minute $\frac{600000}{24 \times 60} = 4, 16$ il faudra multiplier par ce nombre les chiffres ci-dessus et les surfaces de chauffe deviendront théoriquement du moins :

Préévaporateur	94 m ²
1 ^e caisse	272
2 ^e caisse	146
3 ^e caisse	77
4 ^e caisse	87
Total	676

Nous ferons subir à ces chiffres des majorations dont les taux sont ci-dessous indiqués, pour tenir compte d'une part de la perte par rayonnement et d'autre part de la perte par les incrustations.

	Surface calculée	Pourcentage de majoration			Augmentation	Surface pratique
		Pour le rayonnement	Pour les incrustations	Total		
Préévaporateur	94 m ²	5	10	15	14, 1	110
1 ^{re} caisse	272	5	25	30	81, 6	355
2 ^e caisse	146	5	30	35	51, 2	200
3 ^e caisse	77	5	35	40	30, 8	110
4 ^e caisse	87	5	40	45	39, 1	125
	Surface totale					900

Ce chiffre est plutôt un minimum, puisqu'il est basé sur un travail absolument continu de 24 heures sans aucun arrêt.

En pratique, donc la construction de bons appareils ne saurait résulter de l'application de règles théoriques précises. L'expérience du constructeur, basée sur des installations déjà existantes est nécessaire à la réalisation d'appareils susceptibles de produire, en marche courante, le travail qui leur est demandé. D'autant plus que la surface de chauffe judicieusement calculée n'est pas la seule condition nécessaire au fonctionnement de l'appareil. Il faut encore assurer toutes les conditions de circulation et d'évacuation dont nous avons fait précédemment ressortir l'importance.

Il va sans dire que les constructeurs donnent des garanties de rendement des appareils qu'ils fournissent.

Aussi ont-ils tendance à majorer les surfaces de chauffe déduites du calcul.

Nous donnerons ci-dessous quelques exemples de surfaces de chauffe employées dans diverses usines.

Pour une usine de 600 tonnes construite en 1901 prise comme type moyen d'usine par le comité technique des dommages de guerre du département du Nord le quadruple effet a les dimensions suivantes.

1^{er} corps, 300 m² ; 2^e, 250 m² ; 3^e, 200 ; 4^e, 200 ; total 950.

Dans une usine reconstituée de 600 tonnes dans le département du Nord, on a les surfaces suivantes :

Pauilly 100 m² ; 1^e caisse, 400 m² ; 2^e caisse, 342 m² ; 3^e caisse, 170 m² ; 4^e caisse, 110 m² ; total 1120 m².

Dans cette usine les chauffages pratiqués sont les suivants :

Le 1^{er} corps chauffe la diffusion, les cuites, le jus avant 2^e carbonatation.

Le deuxième corps chauffe le jus brut de 1^{re} carbonatation, le jus de 2^e carbonatation, le jus avant le bouillisseur, les sirops et les égouts pauvres.

Le troisième corps chauffe les jus avant 1^{re} carbonatation.

L'appareil d'évaporation d'une sucrerie prévue pour un travail de 2.400 tonnes possède un quintuple effet dont les surfaces de chauffe sont les suivantes :

1 ^{er} corps	1250 m ²
2 ^e corps	1250
3 ^e corps	740
4 ^e corps	450
5 ^e corps	450
Total	4140

Les chauffages sont ainsi établis :

Le 1^{er} corps est chauffé avec la vapeur directe et la vapeur d'échappement à 1 k, 5 de pression.

Le 1^{er} corps chauffe le bouillisseur.

Le 2^e corps chauffe :

Les jus verts chaulés, par 6 réchauffeurs.

Les jus de 1^{re} carbonatation avant filtration, par 3 réchauffeurs.

Les jus avant 2^e carbonatation, par 3 réchauffeurs.

Les jus avant le filtre-pressé de 2^e carbonatation, par 1 réchauffeur.

Les jus avant évaporation, par 4 réchauffeurs.

Les sirops et refontes, par 4 réchauffeurs.

Les réchauffeurs, au nombre de 20, sont semblables et ont 80 m² à 10 circulations.

Enfin le 2^e corps chauffe une partie des cuites et la diffusion, ces postes recevant aussi de la vapeur d'échappement.

Les trois derniers corps ne font pas de chauffages.

Une grande sucrerie française de construction ancienne qui travaille deux mille tonnes de betteraves par 24 heures a comme appareil d'évaporation un quadruple effet dont les surfaces de chauffe sont les suivantes :

Évaporateur	200 m ²	à 115°
1 ^{er} corps	1600	105°
2 ^e corps	1300	95°
3 ^e corps	800	85°
4 ^e corps	550	62°
Total	4450	

CHAPITRE IV

COMPARAISON DES DIVERS MODES D'EVAPORATION

Kestner considère que la suppression de la condensation constitue un très réel progrès dans la solution économique du problème de l'évaporation (*Bulletin Association des chimistes Juin 1911*). Une première étape a été franchie par la réduction jusqu'à une quantité presque nulle de la vapeur allant au condenseur. Cette quantité va sans cesse en décroissant à mesure que se modernisent les usines.

L'étape suivante est la suppression complète du condenseur par l'emploi de l'évaporation sous pression.

En même temps que se manifeste cette évolution, qui a pour conséquence de soumettre le sucre à une température plus élevée, il y a tendance à faire de plus en plus du sucre blanc.

La nécessité de faire des appareils à évaporation très rapide, dans lesquels le sucre reste peu de temps à température élevée apparaît donc de plus en plus impérieuse.

Les jus de betteraves bien épurés peuvent fort bien résister aux températures des appareils sous pression à condition que ceux-ci soient construits de manière telle que la durée de contact soit très courte.

Dès 1906, à la sucrerie de Niezychowo, les premiers appareils de Kestner installés dans l'industrie qui nous occupe démontraient qu'on peut soumettre les jus à la température de 129° sans produire d'altération.

Un des avantages de l'évaporation sous pression est de pouvoir employer des appareils de moindres dimensions qu'avec l'évaporation par le vide. (Surfaces de chauffe plus faibles, tuyauteries et soupapes de moindres dimensions) donc moins coûteux. A cette

diminution s'ajoute encore une cause d'économie du fait de l'encombrement qui est moindre avec les appareils sous pression ; la réduction est surtout importante avec les caisses Kestner. C'est ainsi qu'à Tirlémont on a remplacé un quadruple effet ordinaire qui occupait une surface de 176 m² par des caisses Kestner qui occupent 40 m² (fig. 120).

Cette installation présente un cas particulier intéressant : on a demandé à l'appareil d'évaporation (qui est à double effet) de produire une quantité de vapeur supérieure aux besoins de la sucrerie, afin de l'utiliser pour des chauffages dans la raffinerie attenante à la sucrerie.

A cette économie dans l'installation s'ajoute dans l'exploitation l'économie de vapeur, la suppression de la pompe à air, la diminution de la dépense d'eau dans le condenseur qui n'a plus à assurer que le service des cuites, (nous verrons plus loin qu'on préconise même la cuité sous pression), l'obtention de sirops très chauds pour les cuites. Ajoutons enfin que l'évaporation sous pression donne des eaux de retour très chaudes pour les générateurs.

Dans le rapport sur l'économie de combustible présenté au nom de la Commission interministérielle par M. Sommier (Officiel du 26 février 1922) les caractéristiques des dispositions préconisées pour réduire la consommation de combustible sont les suivantes :

Substitution au type le plus habituel d'appareil à évaporer (quadruple effet sous vide) d'un triple effet sous pression qui réalise la concentration à des températures allant de 140° à 105°.

Concentration finale des sirops avant leur envoi dans l'appareil à cuire dans un appareil spécial chauffé par vapeur prélevée sur le dernier corps du triple effet, la pression de cette vapeur étant relevée par compression.

Par cette disposition tous les postes de chauffage sont desservis par de la vapeur à une pression supérieure à la pression atmosphérique et ayant fait plusieurs effets d'évaporation, à l'exclusion de tout emploi de vapeur vive ou de vapeur d'échappement. Les réchauffeurs remplacent totalement le condenseur qui est supprimé.

Cette disposition doit être complétée par l'utilisation des calories contenues dans les eaux chaudes de condensation extraites de l'appareil à évaporer au réchauffage des jus les plus froids.

La consommation de vapeur est réduite de 84 à 50 kilos par 100 kilos de betteraves.

Dès 1914 (Journal des Fabricants de Sucre, 8 avril 1914) MM. Prache et Bouillon préconisaient les solutions suivantes :

Réalisation de l'évaporation dans un appareil aussi simple que possible, fonctionnant à la pression atmosphérique, supprimant ainsi toutes pertes de calories au condenseur.

Réalisation de la plus grande partie des réchauffages par chaleurs perdues, vapeurs des appareils à cuire et eaux de condensation, cette dernière utilisation devenant possible puisque les eaux sont à 100°.

Réduction au minimum de l'emploi de la vapeur d'échappement des moteurs, cette vapeur ayant toujours un mauvais rendement en comparaison de la vapeur vive évaporant par compression.

La vapeur dépensée devient ainsi au total :

La vapeur vive alimentant les moteurs,

La vapeur nécessaire aux chauffages prélevée sur l'évaporateur en plus de la vapeur d'échappement,

La vapeur employée au clairçage, et les pertes.

Ce schéma était ainsi réalisé :

Evaporation des jus jusqu'à 23 à 24° Baumé dans un appareil à double effet dont le second corps bout à la pression atmosphérique. Cet appareil étant muni de thermocompresseurs pour la vapeur vive et chauffé d'autre part par la vapeur d'échappement réduite au minimum et fournie à une pression effective de 0 k, 6.

Les appareils à cuire sont chauffés ainsi que les réchauffeurs par de la vapeur à une pression voisine de la pression atmosphérique.

Suppression du condenseur de l'appareil évaporatoire.

Concentration sous vide des sirops de 22-24 à 30-32 par vapeur prélevée aux appareils à cuire et effectuée dans des appareils spéciaux.

D'après les auteurs, ce mode de travail est réalisé par une installation comportant une consommation de vapeur de 43 kilos par cent kilos de betteraves, soit par tonne une consommation d'environ 53 kilos d'un combustible à 8000 calories.

Les auteurs de ce schéma de travail d'évaporation font ressortir qu'il présente l'avantage d'un travail à une moins haute température, d'où diminution des chances d'altération des jus

et la concentration gratuite des demi-sirops de 22-24 à 30-32 par le récupérateur de vapeurs de cuites. La diminution de la contre-pression des moteurs est aussi un avantage ; on diminue la proportion de vapeur d'échappement dans la quantité de vapeur

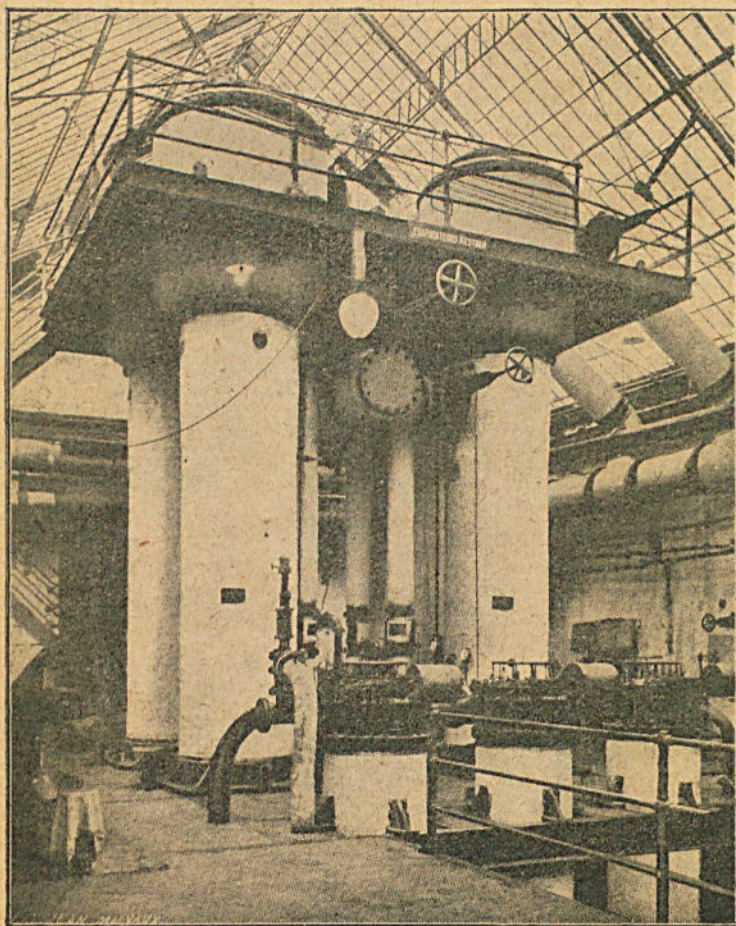


Fig. 120. — Quadruple effet Kestner à la Raffinerie de Tirmont.

totale employée au chauffage de l'évaporateur. Celui-ci est moins dépendant du fonctionnement des moteurs.

Les indications données dans le rapport officiel quant à la consommation de combustible, quoique constituant un énorme

progrès sur les chiffres de consommation courante qu'on observe en sucrerie, pourraient encore être sensiblement améliorées.

Pour montrer la différence notable de consommation de vapeur dans deux installations comportant l'une un quadruple effet avec préévaporateur avec condenseur, et l'autre un triple effet sous pression, nous indiquerons les chiffres suivants d'après un article de M. F. Staudinger (*Sucrerie belge* du 1^{er} et du 15 déc. 1924).

Les chauffages nécessaires par 100 kilos de betteraves sont les suivants :
1° jus brut à chauffer de 24 à 50 (réchauffeurs R¹ et R²) qui sont chauffés par *vapeurs de cuites* :

$$113 \times 0,9 \times (50 - 24) = 2644 ; \frac{2644}{540} = 4 \text{ k, } 9$$

2° jus brut à chauffer de 50 à 80 (réchauffeurs R³ et R⁴) qui sont chauffés par la *deuxième caisse* :

$$113 \times 0,9 \times 30 = 3051 ; \frac{3051}{540} = 5,7$$

3° jus de 1^{re} carbonatation à chauffer de 74° à 90° (réchauffeur R⁵) chauffé par 2^e *caisse* :

$$130 \times 0,9 \times 16 = 1872 ; \frac{1872}{540} = 3 \text{ k, } 5$$

4° jus de 2^e carbonatation à chauffer de 85 à 100 (réchauffeur R⁶) chauffé par 1^{re} *caisse* :

$$130 \times 0,9 \times 15 = 1755 ; \frac{1755}{540} = 3 \text{ k, } 3$$

5° jus de 2^e carbonatation avant bouillisseur à chauffer de 87 à 100 (réchauffeur R⁷) chauffé par la 1^{re} *caisse* :

$$130 \times 0,9 \times 13 = 1521 ; \frac{1521}{540} = 2 \text{ k, } 8$$

6° jus au bouillisseur à chauffer de 94 à 100 (bouillisseur B) chauffé par le préévaporateur :

$$130 \times 0,9 \times 6 = 702 ; \frac{702}{540} = 1,3$$

7° jus filtré avant évaporation, à chauffer de 79 à 110 (réchauffeur R⁸) chauffé par préévaporateur :

$$130 \times 0,9 \times 13 = 1521 ; \frac{1521}{540} = 2,8$$

8° Cuites chauffées par la 1^{re} *caisse* exigeant au total 13 k, 4.

Nous avons donc au total :

préévaporateur (R ⁸ + bouillisseur)	4, 1
1 ^{er} corps (R ⁷ + R ⁶ + cuites)	19, 5
3 ^e corps (R ⁵ + R ⁴ + R ³)	10, 9
L'appareil envoie au condenseur	8, 84
	<hr/>
	43, 34

Pour le chauffage de la diffusion il faut 4 k, 50 ; et la force motrice et les pertes peuvent s'évaluer à 7 k ; on a donc au total :

Evaporation	43,34
Diffusion	4,50
Force motrice, Perte	7
	<hr/>
	54,84

Dans le cas du triple effet, on aura les chauffages suivants :

Le troisième corps effectuera les chauffages des réchauffeurs sauf celui du jus avant. La consommation totale sera de 20 k, 2 ; il enverra en outre 8 k 4 de vapeur aux cuites soit au total 29 k, 5.

Le deuxième corps enverra aux cuites le complément soit 4 k, 4

Le premier corps chauffera le jus avant, consommant 2 k, 8 de vapeur.

Le premier corps aura donc à fournir au total :

$$29 \text{ k, } 5 + 4 \text{ k, } 4 + 2 \text{ k, } 8 = 36 \text{ k, } 7$$

Il recevra donc, en dehors des 20 kilos admis pour la quantité de vapeur d'échappement, $36,7 - 20 = 16 \text{ k, } 7$ de vapeur directe.

En admettant même dépense que ci-dessus pour la diffusion et la force motrice la consommation sera :

	k
Evaporation	36,7
Diffusion	4,5
Force motrice et perte	7,0
	<hr/>
	48,2

Il y a donc au total économie de vapeur de 6 kgs 64. Il convient d'ajouter à cette économie la chaleur récupérée par les eaux de condensation utilisées pour l'alimentation des générateurs, les dites eaux ayant plusieurs degrés de plus.

Emploi de la compression de la vapeur

Si dans une chaudière on évapore un liquide, que pour simplifier, nous supposons être de l'eau pure, avec de la vapeur de chauffage que nous admettrons à 2 kilos soit à 120 degrés nous pouvons faire les observations suivantes :

La quantité de chaleur contenue dans la vapeur de *chauffage* est 643,2 calories par kilog.

La quantité de chaleur contenue dans la vapeur qui se dégage de la chaudière est de 637,0 calories par kilog d'eau vaporisée. Il suffit donc de fournir à 1 kilog de la vapeur sortant de la chaudière $643,2 - 637 = 6,2$ calories pour reproduire la vapeur primitive et évaporer à nouveau, dans la même chaudière ou dans une chaudière semblable un kilogramme d'eau. Nous pouvons élever la température de cette vapeur sans source de chaleur, en lui fournissant du travail mécanique, en la comprimant pour élever sa pression de 1 k à 2 kilogs.

L'idée est si simple qu'elle séduisit depuis longtemps de nombreux chercheurs. En fait il faut pouvoir produire cette compression sans dépense de com-

bustible égale à celle qui correspond à l'élévation de température pour porter l'eau condensée de 100 à 120°.

Le principe est d'ailleurs applicable à toute vapeur, quelle que soit sa température, et notamment à celles qui se dégagent des derniers corps d'un appareil d'évaporation et, qu'en raison de leur trop faible température, on ne peut utiliser pour les chauffages.

Dès 1834 Pierre Pelletan, au début même de l'emploi des appareils à effet multiple, eut l'idée d'aspirer les vapeurs qui se dégagent de l'appareil à évaporer, de les comprimer et de les utiliser à nouveau au chauffage. En raison des pertes dues au fonctionnement du compresseur employé, le procédé ne réussit pas. Les essais dans la même voie entrepris par Ritlinger en Allemagne puis par Félix à Sermaize n'eurent point de succès.

Piccard utilisa le principe de la compression des vapeurs avec succès pour l'évaporation de solutions salines en diverses installations, grâce à l'emploi d'énergie mécanique empruntée à des chutes d'eau ; la possibilité de disposer de chutes d'eau est une circonstance heureuse qui ne se présente habituellement pas en sucrerie.

Sous le nom de Piccard-Weibel, l'application du principe de la compression des vapeurs fut faite en 1879 avec un compresseur actionné par la vapeur, mais sans succès.

Horsin-Déon préconisa l'emploi du moteur à gaz pauvre en 1901 pour résoudre le problème. Nous sommes aujourd'hui à l'époque révolue de réalisation.

On trouve dans un mémoire de M. Jean Rey paru au Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils de France (avril 1909) une étude sur la *compression de la vapeur appliquée à l'évaporation*, à la fois théorique et pratique.

Les considérations théoriques suivantes doivent être retenues :

Si on prend de la vapeur d'eau exactement saturée à 106° soit à la température absolue de 379° et qu'on la détende adiabatiquement jusqu'à la température de 100° soit 373° degrés absolus, les tables nous indiquent pour le travail de détente 8, 33 calories pour 1 kilogramme de vapeur. La dite vapeur détendue est humide et contient 1, 24 % d'eau.

Inversement, la compression de vapeur d'eau à la pression atmosphérique soit 1 k. 033 renfermant 1, 24 d'humidité, jusqu'à la pression 1 k. 276 correspondant à la vapeur d'eau exactement saturée à 106°, consommera un travail correspondant à 8, 33 cal. Si la vapeur à comprimer est exactement saturée à 100° on aura un travail correspondant à 8, 57 calories ; c'est-à-dire que le supplément de travail dû à la surchauffe est très faible. Quant à l'échauffement il est au contraire important.

Pour comprimer 1000 kilos de vapeur à l'heure, il faudra, si on prend une valeur intermédiaire entre les deux chiffres ci-dessus 8, 33 et 8, 57 soit 8, 45 cal. par kilogramme, 8.450 calories soit 3.625.050 kilogrammètres, soit en chevaux, ce nombre divisé par $75 \times 3.600 = 270.000$ soit 13, 33 chevaux pendant l'heure.

C'est là un chiffre théorique que le rendement des appareils compresseurs amène à être en fait beaucoup plus important ; cependant nous verrons que la compression de la vapeur permet aisément de réaliser d'importantes économies.

Les divers procédés qui peuvent être employés pour réaliser la compression de la vapeur sont successivement étudiés dans le mémoire précité ; nous en donnons ci-dessous le résumé :

1° Compresseurs à piston

L'emploi des compresseurs à piston n'est possible que si l'on dispose d'une source d'énergie à peu près gratuite ou si le charbon est à très bas prix.

La chaleur spécifique de la vapeur pouvant être prise en moyenne dans les limites de cette opération, égale à 0,50, on voit que la surchauffe atteindra $13^{\circ},7 + 12$ degrés, soit, au total, 26 degrés environ. Cette surchauffe, non seulement gêne la lubrification et augmente les frottements, mais elle rend la condensation de la vapeur comprimée surchauffée plus difficile et exige des surfaces évaporatoires beaucoup plus grandes.

Cette solution est impossible en raison du prix d'achat et d'entretien des machines qu'elle exigerait.

2° Turbo-Compresseur.

« Le turbo-compresseur se compose d'une turbine à vapeur actionnant directement sur son arbre un compresseur multicellulaire dont les roues mobiles sont traversées en série par le flux de vapeur à comprimer ; chaque roue forme un étage de compression et la vapeur qui les traverse successivement élève peu à peu sa pression jusqu'à la pression finale à la sortie de l'appareil.

Si l'on suppose que la turbine à vapeur motrice est établie à condensation, on pourrait obtenir avec cet appareil, d'une façon normale, un rendement thermique pratique de 55 %.

Le compresseur multicellulaire convenablement calculé peut atteindre également un rendement de 55 % pour un fluide peu dense comme la vapeur d'eau, exigeant, par suite, des roues de grand diamètre avec l'inconvénient des grandes surfaces de refroidissement. Le rendement global du groupe turbine à vapeur et compresseur sera donc de $0,55 \times 0,55$, soit 30 %.

En supposant que l'on parte de vapeur à 6 kg effectifs détendue jusqu'à un vide de 90 % dans la turbine, il faudra 14 kg de vapeur pour produire un cheval utile en vapeur comprimée par heure.

La consommation totale de vapeur sera donc de 18 kgs de vapeur vive à l'heure. C'est-à-dire que 1 kg de vapeur vive évapore 5 k, 35 de vapeur entraînée mais elle sera perdue au condenseur. »

Si nous supposons au contraire une turbine fonctionnant sans condensation son rendement tombera à 50 %, le rendement global du système étant 27 %, la consommation théorique étant de 8,25 kgs, il faudra 30 kgs par cheval utile en vapeur comprimée ; il faudra donc 400 kgs de vapeur à l'heure ; 1 kg de vapeur vive

n'évapore plus que 2,5 kg de vapeur mais il restera 1 kg de vapeur disponible à la pression atmosphérique.

Les résultats économiques seraient acceptables ; mais le phénomène de la surchauffe qui dans les limites de pression correspon-

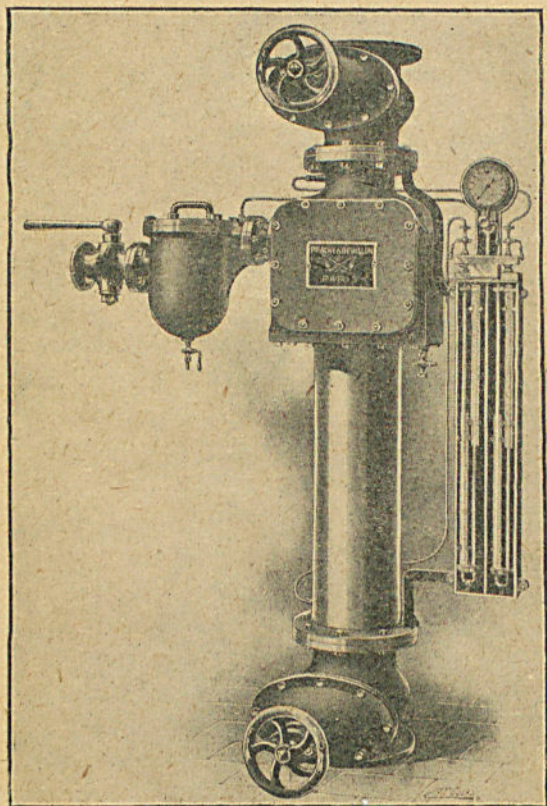


Fig. 121. — Thermo-compresseur Prache et Bouillon.

nant à l'exemple choisi atteint 13°8 rend l'utilisation de la vapeur comprimée difficile.

D'autre part les dimensions des compresseurs pour la vapeur à basse pression sont énormes et par conséquent leurs frais d'installation et d'entretien sont élevés.

3^o Thermo-Compresseur.

Le mémoire précité de M. Jean Rey s'exprime ainsi sur ce sujet :

L'appareil que j'ai dénommé « thermo-compresseur » et dont l'étude a été suivie avec un soin particulier par MM. Prache et Bouillon, qui ont effectué plusieurs milliers d'expériences, est constitué essentiellement par une tuyère de détente où la vapeur motrice prend une vitesse correspondant à la chute de pression qu'on lui fait subir (fig. 121).

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 avec la vapeur motrice.

Le mélange des deux fluides pénètre ensuite 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 demandée ».

Le tableau ci-dessous résume les résultats comparatifs de la compression de la vapeur d'eau avec les différents appareils qu'il est possible d'employer, et montre l'avantage économique du thermo-compresseur, qui explique les importantes applications dont il a été l'objet.

Compression industrielle de la vapeur d'eau.

APPAREIL EMPLOYÉ	PRESSION MOTRICE absolue	PRESSION FINALE absolue après comp.	POIDS DE LIQUIDE vaporisé pour 1 kg de vapeur motrice	CALORIES FOURNIES à la vapeur motrice	CALORIES DISPONIBLES pour d'autres usages	CALORIES DÉPENSÉES totale pour la vaporisation	CALORIES DÉPENSÉES pour 1 kg de liquide épuré
	kg	kg	kg	cal.	cal.	cal.	cal.
Compresseur à piston avec condensation.....	7	1,276	3,38	641,5	0	641,5	190
Compresseur à piston sans condensation.....	7	1,276	2,18	641,5	477	164,5	75,3
Turbo-compresseur avec condensation.....	7	1,276	5,35	641,5	0	641,5	120
Turbo-compresseur sans condensation.....	7	1,276	2,50	641,5	477	164,5	67,5
Thermo-compresseur	7	1,276	2,00	641,5	536	105,5	52,7

Le thermo-compresseur Prache et Bouillon est défini par ses constructeurs : un appareil qui a pour but d'utiliser le travail mécanique d'une vapeur qui se détend pour aspirer une autre vapeur à basse pression et fournir un mélange ayant une pression supérieure à celle de la vapeur aspirée.

On l'installe sur une caisse d'évaporation quelconque de la manière suivante (fig. 122) :

La tubulure d'aspiration du thermo-compresseur est reliée à la chambre d'ébullition de la caisse d'évaporation ; la tubulure de

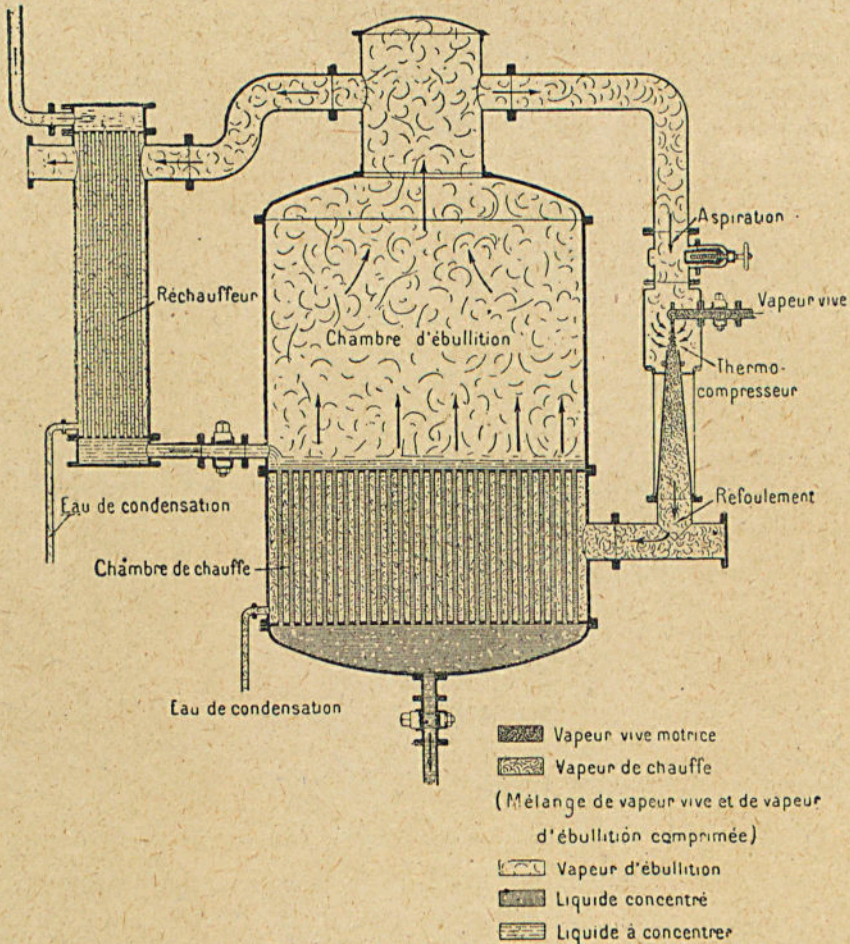


Fig. 122. — Schéma montrant le fonctionnement du thermo-compresseur. (Prache et Bouillon)

refoulement du thermo-compresseur est reliée à la chambre de chauffe de la caisse.

La conduite de vapeur vive est reliée à une tubulure disposée sur le thermo-compresseur ; cette vapeur en se détendant aspire

la vapeur de la chambre d'ébullition, se mélange avec elle en la comprimant et la refoule dans la chambre de chauffe.

L'application du thermo-compresseur à des appareils d'évaporation n'exclue pas les prélèvements en vue des divers chauffages.

Selon MM. Prache et Bouillon les effets économiques du thermo-compresseur sont établis par les quantités d'eau évaporées par kilog de charbon brûlé aux générateurs quand un appareil d'évaporation en est muni, comparées aux quantités d'eau évaporée dans l'appareil ordinaire :

	Appareil ordinaire	Le même appareil muni d'un thermo-compresseur
Evaporation à :	kilos	kilos
Sextuple effet	45	60
Quintuple effet	37,5	52,50
Quadruple effet	30	45,00
Triple effet	22,5	37,50
Double effet	15	30
Simple effet	7,5	22,50

Il existe sous le nom de « évaporateur auto-condenseur » un appareil qui combine le thermo-compresseur et l'évaporateur Prache et Bouillon.

Cet appareil fonctionne de la façon suivante :

La vapeur vive motrice se détend dans un thermo-compresseur de sa pression initiale à la compression du régime de la chambre de chauffe de l'évaporateur.

La vapeur ainsi détendue aspire une certaine quantité de vapeur qui provient de la chambre d'ébullition de l'évaporateur, laquelle vapeur provient elle-même du liquide, lui-même en ébullition.

La vapeur ainsi aspirée se mélange à la vapeur motrice qui se détend et se rend dans la chambre de chauffe de l'évaporateur pour produire par sa condensation un poids de vapeur sensiblement égal dans la chambre d'ébullition.

Une partie de cette vapeur est aspirée par le thermo-compresseur, une autre partie est évacuée à l'extérieur, en passant dans un réchauffeur où elle abandonne un certain nombre de ses calories pour réchauffer le liquide qui doit être introduit dans l'évaporateur pour l'amener à une température voisine de la température d'ébullition.

Le liquide ainsi réchauffé automatiquement est introduit dans l'évaporateur et s'y concentre. Quand la concentration est effectuée le liquide est évacué par un régulateur de niveau.

Il faut de plus noter que la vapeur qui sort de l'appareil est à la pression atmosphérique et ainsi peut encore être utilisée.

Cet appareil peut donc remplacer un appareil d'évaporation quelconque à multiple effet.

Théoriquement chaque kilo de vapeur vive à 7 kilos de pression qui se détend dans le thermo-compresseur de 7 kilos absolus à 1 k, 273 correspondant à 106°, permettra la récupération d'un travail mécanique

correspondant à 68 calories 32. Or pour comprimer 1 kilog de vapeur saturée de la pression de 1 k, 043 (qui correspond à la vapeur à 100°) jusqu'à la pression de 1k. 273 (qui correspond à 106°), il faut dépenser un travail équivalent à 8, 47 calories. Il en résulte que théoriquement du moins, chaque kilogramme de vapeur vive détendue dans le thermo-compresseur aspirera dans la chambre d'ébullition un poids de vapeur à 100° égal à $\frac{68,32}{8,57} = 8 \text{ k}, 06$ pour le refouler en mélange avec lui même dans la chambre de chauffe qui ainsi recevra $8,06 + 1 = 9 \text{ k}, 06$ de vapeur. Cette vapeur en se condensant produira sensiblement l'évaporation de 9 k, 06 d'eau qui donneront 9, 06 de vapeur à 100° sur lesquels 8 k, 06 seront repris à nouveau par le thermo-compresseur tandis que 1 kil. sera évacué.

Théoriquement, donc 1 k. de vapeur vive évaporera 9 kilos d'eau. Bien entendu en pratique la quantité d'eau évaporée est inférieure à ce poids.

Malgré les avantages qui ressortent de l'exposé ci-dessus en faveur de l'emploi de la compression de la vapeur certains techniciens à l'étranger sont réfractaires à son emploi. C'est ainsi que selon Johann Pokorny. (*Zeitschrift für Zucker industriel de la République tchéco-slovaque*, 4 mai 1922) un multiple effet pourvu d'un thermo-compresseur n'est pas plus économique qu'une station évaporatoire ordinaire bien installée et bien conduite. C'est seulement, d'après cet auteur, dans des cas exceptionnels qu'on en peut envisager l'emploi avantageux.

Nous citerons cependant d'importantes applications de chauffage par les vapeurs empruntées à l'appareil à chauffer lui-même, et comprimées, qui sont réalisées par les éjecto-compresseurs Breguet-Delaporte ; c'est ainsi qu'il a été fait une installation de 25.000 kgs de vapeur par heure en admettant 10.000 kgs de vapeur vive à 280° comprimant 15.000 kgs de vapeur produite par l'appareil.

On voit donc que ce mode de chauffage pour l'évaporation jouit actuellement d'une sérieuse faveur.

Moteurs à vapeur de jus.

Les moteurs à vapeur, l'appareil d'évaporation, les divers réchauffeurs et l'appareil à cuire forment un ensemble qu'alimente une même vapeur. En principe le moteur à vapeur forme le premier stade de l'utilisation de la vapeur prélevée au générateur. Mais on a imaginé de modifier cet ordre et d'actionner les moteurs avec des vapeurs prélevées à un point quelconque du circuit : soit avec des vapeurs prélevées à la sortie de la cuite soit avec des vapeurs

prélevées sur l'appareil d'évaporation. Quand, pour actionner les moteurs, on prend la vapeur de cuite, la cuite est faite à la pression atmosphérique.

Dès 1912 M. Camuset faisait entrevoir la possibilité d'une interversion complète dans l'emploi de la vapeur en sucrerie : nous citerons textuellement ce qu'il écrivait à cette date dans l'album du Centenaire de la Sucrerie.

« Il n'est pas défendu d'envisager que l'emploi de la vapeur en sucrerie pourra subir une interversion complète.

« La vapeur serait produite aux pressions pratiquement les plus élevées. Elle serait d'abord employée à l'évaporation, aux chauffages et à la cuite par l'intermédiaire des thermo-compresseurs. Quant à la force motrice, à l'inverse de ce qui se fait actuellement, elle serait obtenue par l'utilisation des vapeurs sortant des appareils à évaporer et à cuire, dont la détente serait poussée aussi loin que le permettrait l'emploi des nouveaux appareils à faire le vide ».

L'emploi de la turbine à basse pression est une idée ancienne et rationnelle que M. Depasse s'est efforcé de développer, en raison de l'intérêt que cette solution présente au point de vue de l'engagement des capitaux dans les usines à construire. (Voir Journal des Fabricants de Sucre, 30 janvier 1918).



CHAPITRE V

RÉCHAUFFAGE DES JUS ET SIROPS

Généralités.

Le réchauffage des jus est une partie importante de la fabrication du sucre. Nous avons vu qu'on l'effectue habituellement avec des vapeurs prélevées sur les différents corps de l'appareil à évaporer. On emploie à cet effet des appareils formés d'un cylindre contenant un faisceau tubulaire. Le jus circule à l'intérieur des tubes et la vapeur de chauffage passe à l'extérieur. La surface de chauffe doit être d'autant plus grande que la différence de température est moindre entre la vapeur et le jus à échauffer. Cette différence de température ne doit pas être inférieure à 8°. Mais, les coefficients de transmission, c'est-à-dire le nombre de calories par mètre carré et par degré de chute, dans l'unité de temps, sont cinq à six fois moindres que pour les appareils à évaporer. La condition nécessaire pour assurer une bonne transmission de la chaleur est une circulation active du liquide. Horsin-Déon a rendu grand service en imaginant vers 1885 les réchauffeurs à multiple circulation.

On effectue aussi le réchauffage des jus avec de l'eau chaude au lieu de vapeur. Nous avons vu en effet que certains modes d'installation des appareils à évaporer, comportaient la production d'une grande quantité d'eaux plus ou moins chaudes, dont le calorique doit être utilisé.

Calcul des Réchauffeurs.

Le calcul de la quantité de vapeur nécessaire au chauffage d'un jus ou d'un sirop, et celui des surfaces de chauffe convenables, est

basé sur l'équation suivante qui exprime que la quantité de chaleur absorbée par le liquide à échauffer est égale à la chaleur cédée par la vapeur.

Si on appelle P le poids de jus ou de sirop à échauffer par unité de temps, t et t' les températures de ce liquide avant et après chauffage, p le poids de vapeur à une température T, et c étant la chaleur spécifique du produit à échauffer :

$$Pc (t' - t) = p (606,5 - 0,7 T)$$

d'où l'on tire :

$$p = \frac{P c (t' - t)}{606,5 - 0,7 T}$$

Théoriquement, on devrait tenir compte de la quantité de chaleur emportée par l'eau de condensation ; en pratique on peut la négliger.

Pour calculer la surface de chauffe il faut toujours considérer que la quantité de chaleur cédée est égale à la quantité de chaleur transmise. On doit pour cela connaître la chute de température et le coefficient de transmission. Le premier de ces termes est variable à chaque instant. Si on prend pour valeur moyenne de la température du liquide $\frac{t + t'}{2}$ et si on appelle K le coefficient de transmission et S la surface, on a :

$$S = \frac{P C (t' - t)}{K \left(T - \frac{t + t'}{2} \right)}$$

Les coefficients pratiques employés varient suivant la nature du liquide et suivant la chute de température considérée, entre 300 calories pour les jus chauffés avec des vapeurs à basse température, ou des sirops, en raison de leur viscosité, et 600 cal. pour des jus chauffés avec des vapeurs à 105°.

Prenons par exemple, les jus à réchauffer, pour 100 kilos de betteraves, dans les conditions assez courantes d'un quadruple effet.

Pour le jus de 2^e carbonatation à chauffer par la vapeur prélevée sur la 1^{re} caisse, à 107°, en admettant 130 litres de jus à porter de la température de 85° à celle de 100°, la chaleur spécifique étant 0,95, le coefficient de transmission de 600, on aura :

$$S = \frac{125 \times 1,04 \times 0,9 (100 - 85)}{600 (107 - 92,5)} = 0 \text{ m}^2 \text{ 20.}$$

par 100 kilos de betteraves travaillées par heure.

Soit, pour une usine travaillant 600 tonnes par journée de 24 heures, c'est-à-dire $\frac{600.000}{24} = 25.000$ kgs à l'heure

$$\frac{0,20 \times 25000}{100} = 50 \text{ m}^2$$

Dans le cas de sirops on aurait à appliquer la même formule ; mais ici, la chaleur spécifique devient 0,6 et le coefficient de transmission tombe à 300 calories par heure et par degré-mètre carré.

En réalité, la rigueur de ce calcul est toute relative, en raison du caractère empirique avec lequel est fixé le coefficient K, facteur essentiel.

Le rendement calorifique des réchauffeurs est nettement inférieur au rendement calorifique des appareils à évaporer, ce qui est naturel en raison du renouvellement beaucoup moins rapide des surfaces dans le cas des réchauffeurs : il faut, pour transmettre le même nombre de calories dans l'unité de temps, quatre ou cinq fois plus de surface de chauffe dans ces derniers que dans les appareils d'évaporation.

On constate fréquemment, dans les installations, une insuffisance des réchauffeurs, ce qui entraîne une mauvaise marche générale des chauffages faits par prélèvements de vapeurs sur les divers corps du triple effet.

En fait, les surfaces des réchauffeurs dans les sucreries doivent être d'environ un demi-mètre carré par tonne de betteraves travaillées par 24 heures.

Dans l'usine type de 600 tonnes on trouve les réchauffeurs suivants
2 réchauffeurs de 80 m² pour les jus avant 1^{re} carbonatation (avec vapeur de 3^e caisse de quadruple effet).

1 réchauffeur de 40 m² pour jus après 1^{re} carbonatation (avec vapeur de 2^e caisse).

1 réchauffeur de 40 m² pour jus après 2^e carbonatation (avec vapeur de 2^e caisse).

1 réchauffeur de 40 m² pour bouillage (avec vapeur de 1^{re} caisse).

1 réchauffeur de 40 m² pour jus allant à l'évaporation (avec vapeur de 1^{re} caisse).

1 réchauffeur de 30 m² pour sirops sulfités et un réchauffeur de même surface pour égouts (tous deux avec vapeur du 2^e corps).

La figure 123 montre l'importance des installations de réchauffeurs dans une grande usine moderne.

Modes divers de réchauffage.

L'installation des réchauffeurs tels que nous venons de les

indiquer représente une très grosse dépense. Certains inventeurs ont cherché à l'éviter. M. Bruckner (*Deutsche Zucker industrie*, 23 déc. 1921) propose l'emploi de vapeur à 102° empruntée à l'appareil à évaporer introduite dans une enceinte où on fait arriver en même temps le jus à réchauffer sous forme de liquide pulvérisé.

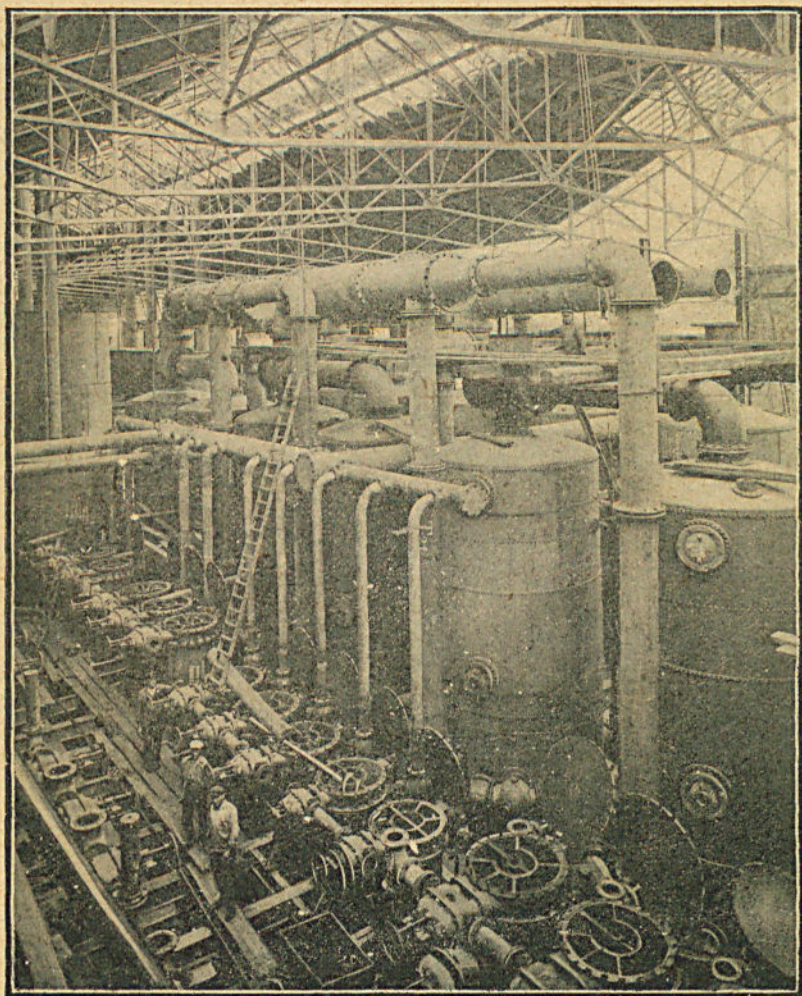


Fig. 123. — Vue prise pendant le montage à la Sucrerie d'Eppeville montrant les tuyauteries amenant la vapeur prélevée sur les différents corps de l'appareil évaporatoire pour le réchauffage des jus et sirops.

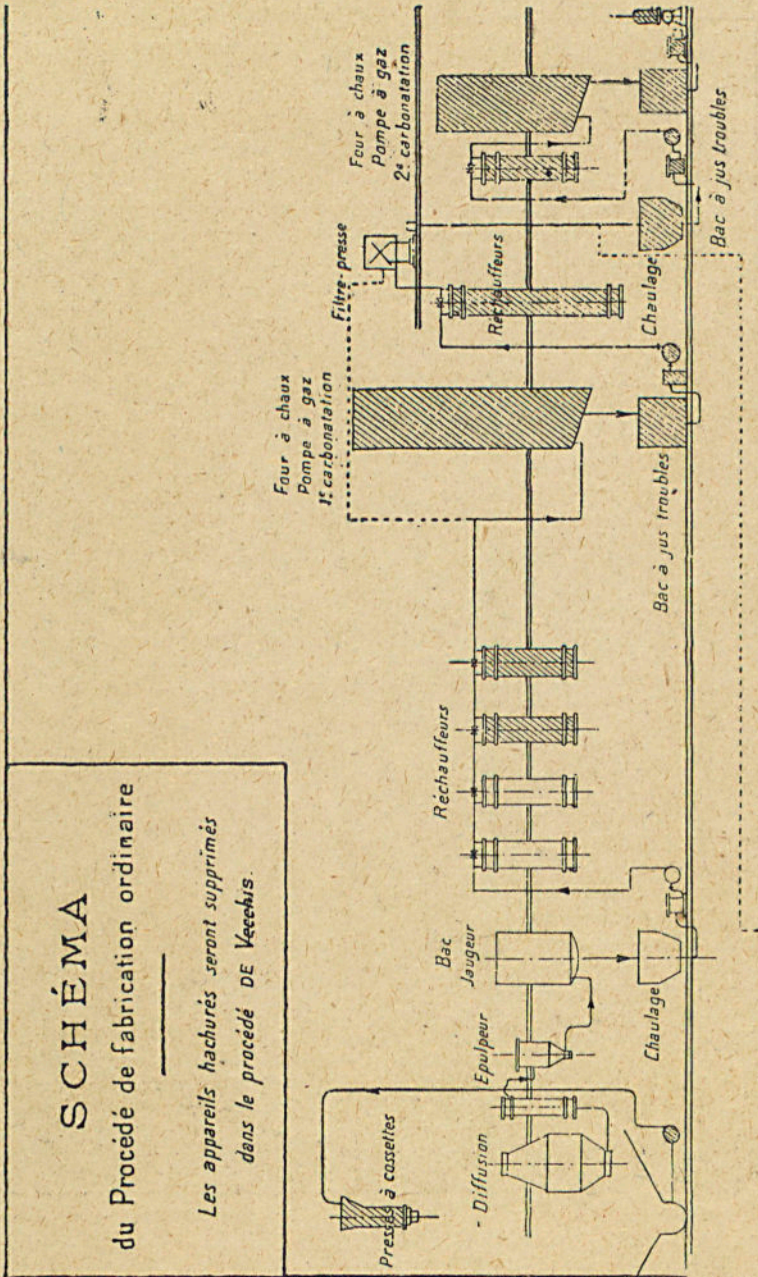


Fig. 124. — Diffusion chaulage réchauffage des jus. Carbonatation.

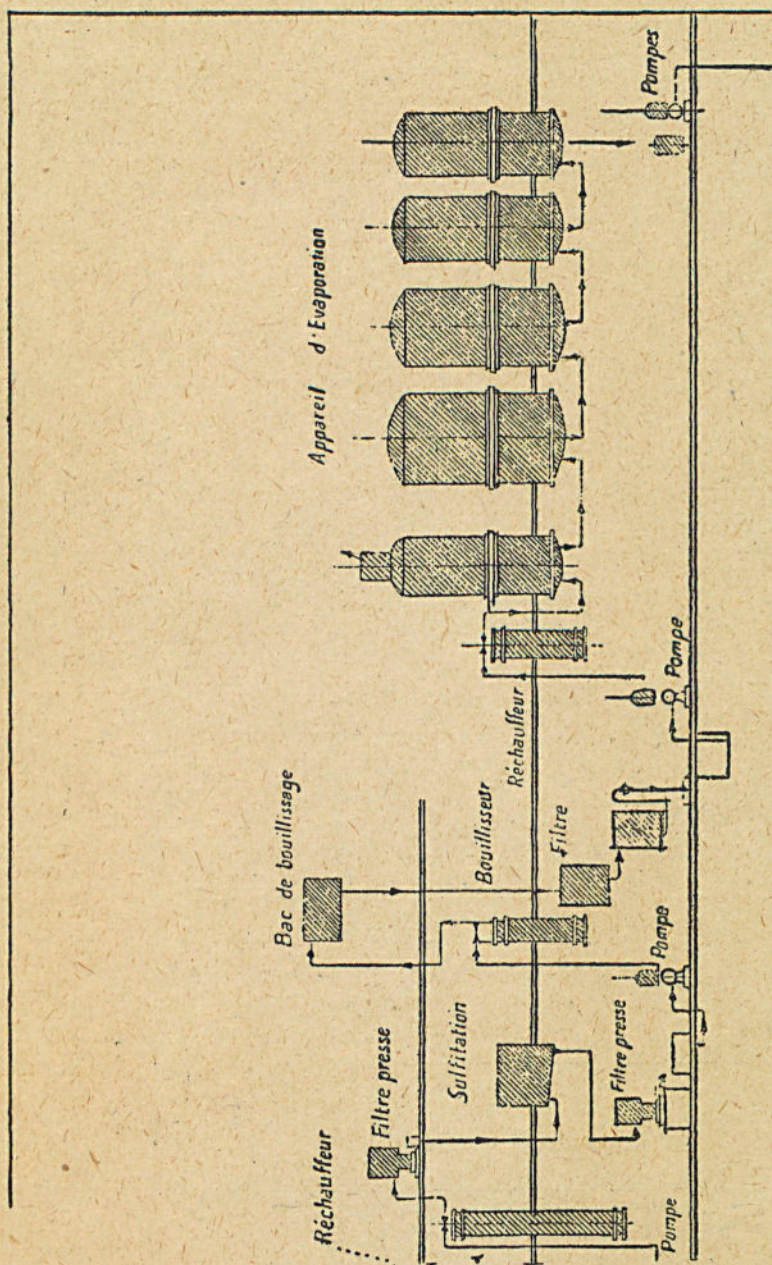


Fig. 125. — Réchauffage de jus de 2° carbonatation, filtration, sulfitation, bouillissage, évaporation.

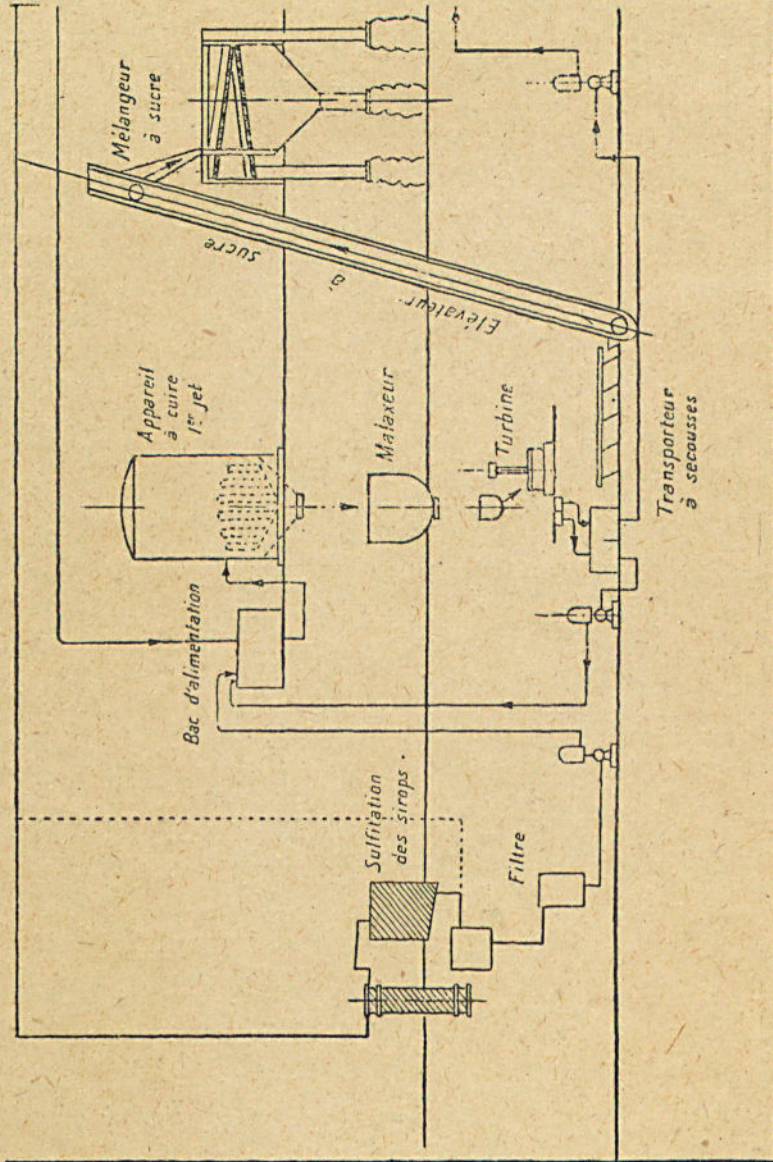


Fig. 126. — Sulfuration des sirops cuite de 1er jet. Turbinage.

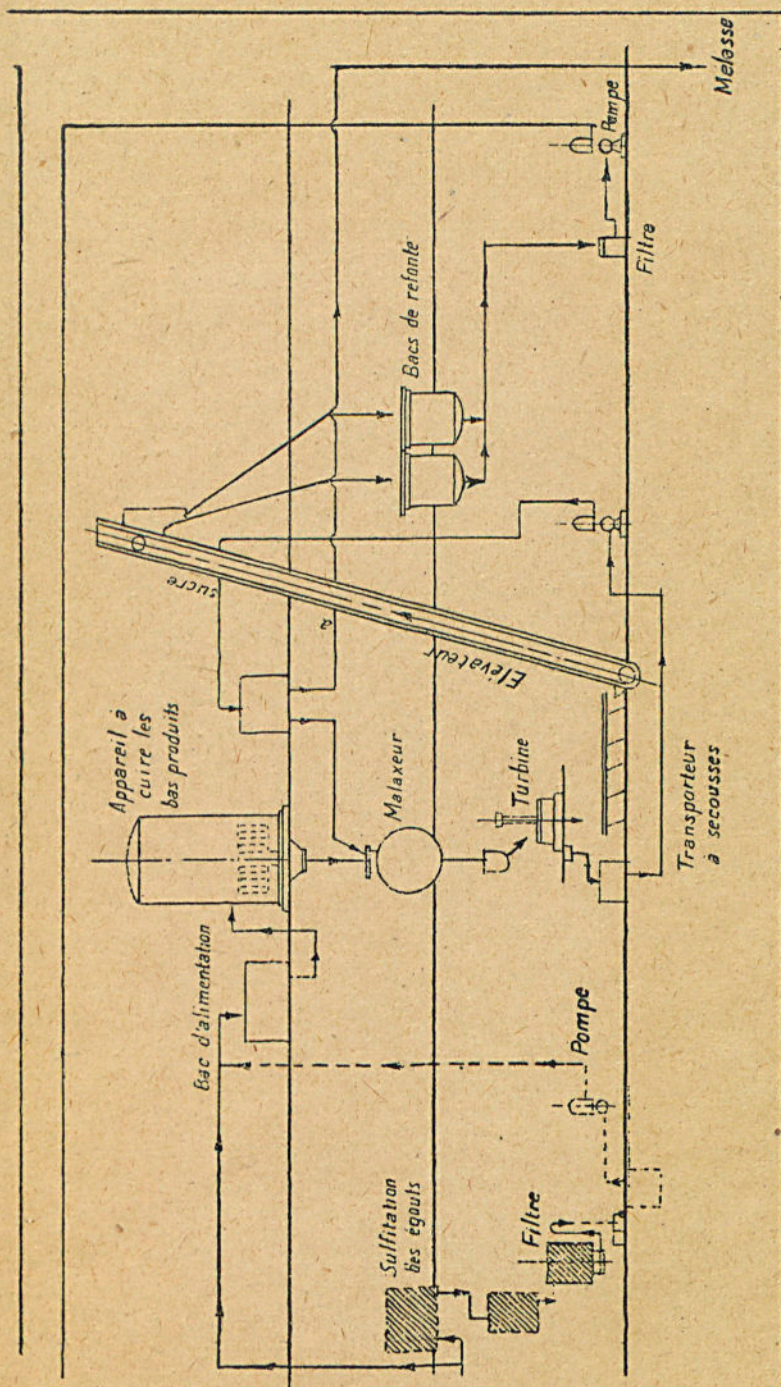


Fig. 127. — Traitement des égouts et bas produits.

Il faut augmenter la surface de chauffe de l'appareil où on prend la vapeur qui est de préférence le 3^e corps ; mais le rendement de l'unité de surface de cet appareil est supérieur à celui d'un réchauffeur. Il y a sans doute plus d'eau à évaporer mais au total l'apport de vapeur initiale n'est pas accru.

Plus récemment on a appliqué dans une sucrerie de Hollande

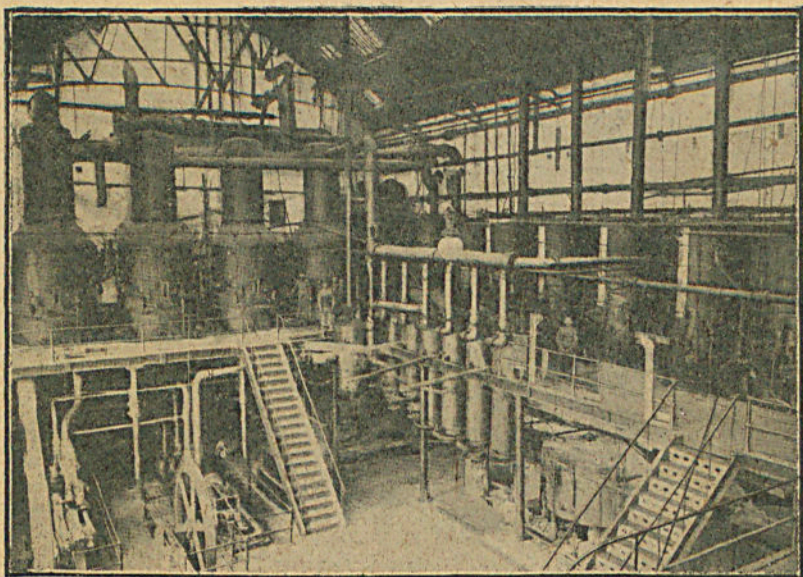


Fig. 128 — Vue d'ensemble d'une sucrerie (carbonatation, réchauffeurs, évaporation).

le système de réchauffage de Haag appliqué d'abord à Java (Van Moll *Java Archief* 1924). Ce procédé consiste à installer un réchauffeur de jus brut sous forme d'un condenseur à injection dans lequel on injecte au lieu d'eau, du jus brut froid. Ce réchauffeur est installé entre le dernier corps de l'appareil évaporatoire et le condenseur. Ainsi se produit la condensation d'une partie des vapeurs du dernier corps et l'échauffement subséquent du jus à une température voisine de la température de la vapeur. La perte au condenseur est ainsi réduite. Il y a dilution du jus, mais la réévaporation de l'eau ainsi ajoutée au jus demande moins de vapeur

que celle nécessitée pour le chauffage du jus dans les conditions habituelles, et il y a finalement économie. On emploie un injecteur semblable dans lequel on condense la vapeur allant de l'avant-dernier corps au dernier et ainsi de suite jusqu'à ce que le jus soit amené à la température voulue, exclusivement par injection. On assure la circulation du jus dans les injecteurs soit à l'aide d'une différence de niveau, soit, les injecteurs étant au même niveau, à l'aide de pompes centrifuges assurant la circulation.

En dehors de l'économie d'installation et d'entretien des réchauffeurs l'auteur considère comme à l'avantage du procédé, l'élimination de l'air du jus froid.

Suppression de l'évaporation et des réchauffages.

Nous avons vu (page 144) que l'emploi du procédé de dessiccation des cossettes de betteraves permettait l'obtention directement au sortir de la diffusion d'un jus dense à 51-52 degrés Brix, c'est-à-dire pouvant aller directement à l'évaporation. C'est donc la suppression pure et simple de tout ce qui a trait à l'évaporation.

De plus, la suppression d'un grand nombre de filtrations qui se trouvent en fait réduites à une seule — avec d'ailleurs un volume très réduit de précipité — rend inutiles les réchauffages ou plus exactement les limite à celui de la diffusion.

Cette simplification s'ajoute à celles dont nous avons parlé précédemment. Les figures 124, 125, 126 et 127 montrent l'ensemble des simplifications ainsi réalisées ; dans ces figures qui constituent un schéma de la fabrication du sucre dans son ensemble on a hachuré les parties qui se rapportent à des appareils que le procédé de dessiccation avec emploi de phosphates permet de supprimer.

Tous les problèmes qui se posent pour la recherche de la solution la plus économique de l'évaporation et de ses postes annexes, ainsi que ceux qui ont trait au réchauffage, se trouvent donc en fait supprimés dans l'usine qui serait montée pour l'application exclusive et intégrale du procédé par dessiccation comme c'est le cas de celle de Sanguinetto.

Il s'en pose d'ailleurs d'autres, notamment en ce qui concerne la force motrice par le fonctionnement de la sécherie. C'est en somme le problème des râperies, qui ne disposent pas non plus de l'utilisation de la vapeur de leurs moteurs. Il est des régions, qu'on peut espérer voir de plus en plus nombreuses, où l'utilisation de l'énergie, électrique s'impose. C'est d'ailleurs ce qui a lieu en Italie dans les usines où le procédé est appliqué. Ailleurs on peut recourir à l'emploi de moteur à gaz pauvre.

La force nécessaire pour les sécheries par le procédé de Vecchis est d'environ 400 chevaux par tonne de betteraves fraîches travaillées journallement. Par suite des circonstances actuelles où on arrive à ce paradoxe que l'excès de richesse est considéré presque comme une calamité, un procédé qui a pour caractéristique de permettre l'extension de la zone d'alimentation des sucreries, donc plus grande production, ne retient pas l'attention comme il devrait le faire. Il n'en sera peut-être pas toujours ainsi.

SIXIÈME PARTIE

TRAITEMENT DES SIROPS

PRODUCTION DU SUCRE — SOUS-PRODUITS

CHAPITRE PREMIER

FILTRATION DES SIROPS

Généralités.

Par la concentration du jus pour l'amener à l'état de sirop on a produit une augmentation du pourcentage des impuretés minérales (d'ailleurs moins solubles dans un sirop concentré que dans un jus) de sorte qu'on dépasse le taux de leur solubilité : elles ont donc formé un précipité qui nécessite une filtration, de manière à produire la cristallisation du sucre, au cours de la cuite du sirop dans l'appareil à cuire, dans un milieu limpide ce qui est une condition essentielle.

Cette filtration du sirop peut s'effectuer sur le produit extrait de la dernière caisse. Mais on la pratique généralement avant la concentration totale du sirop, c'est-à-dire sur le sirop extrait de l'avant dernière caisse avant son passage dans la dernière, qu'on appelle quelquefois demi-sirop. La complication de l'installation que produit cette manière d'opérer se justifie pleinement. En effet en procédant ainsi on opère sur du sirop qui n'a que 30 degrés Brix (18 Baumé) environ, c'est-à-dire que la filtration est beaucoup plus facile. Il en résulte en outre l'important avantage suivant : le précipité qui est recueilli sur le filtre quand on filtre avant la dernière caisse est précisément constitué par les substances qui formeraient les incrustations de cette caisse où elles sont toujours les plus abon-

dantes. L'analyse des boues recueillies montre d'ailleurs l'efficacité de cette filtration.

Qu'il y ait ou non sulfitation préalablement à la filtration celle-ci s'effectue sur des filtres mécaniques semblables à ceux utilisés pour les jus et que nous avons décrits précédemment (fig. 129 et 130); les filtres qui emploient les tissus se montent avec des toiles pelucheuses de préférence aux tissus lisses. Les filtres à sable donnent de bons résultats. On peut aussi employer des filtres fermés à sable ou à toiles que le jus parcourt entre les deux caisses. Cette solution en apparence plus simple n'est pas toujours avantageuse.

Quel que soit le filtre employé, au début de son emploi il laisse écouler un jus trouble qui bien entendu n'est pas envoyé au bac à jus filtré; les écumes ne sont pas lavées mais sont retournées au bac à saturation de jus par l'acide carbonique.

La concentration du sirop après sa filtration dans le dernier corps amène un nouveau trouble, mais généralement assez faible pour qu'on n'opère pas une nouvelle filtration. Celle-ci peut cependant être faite, une filtration entraînant toujours avec elle une purification et une amélioration du travail.

Pour terminer ce qui a trait à la filtration, indiquons la nécessité de filtrer des liquides convenablement chauffés puisque la vitesse de filtration croît comme le carré de la température.

Sulfitation des sirops.

La sulfitation des sirops doit se faire sur le produit extrait de l'avant dernier corps, car l'action d'un gaz sur un produit manquant de fluidité, comme se trouve un sirop à plus de 18° Baumé est peu efficace. Lorsque le sirop contient un excès de chaux, la formation de sulfite de chaux constitue un précipité grenu qui fixe les matières de filtration difficile qui se sont précipitées dans le sirop(1).

(1) Il arrive même parfois, lorsque la quantité de chaux laissée dans les jus est très faible et insuffisante pour former dans le sirop un précipité par l'acide sulfureux qu'on rajoute dans le sirop avant action de l'acide sulfureux une certaine quantité de lait de chaux. Mais c'est là, une pratique qu'il convient d'éviter.

Dans beaucoup de cas cette action de l'acide sulfureux est très efficace. L'emploi de l'acide sulfureux doit être fait avec soin et rigou-

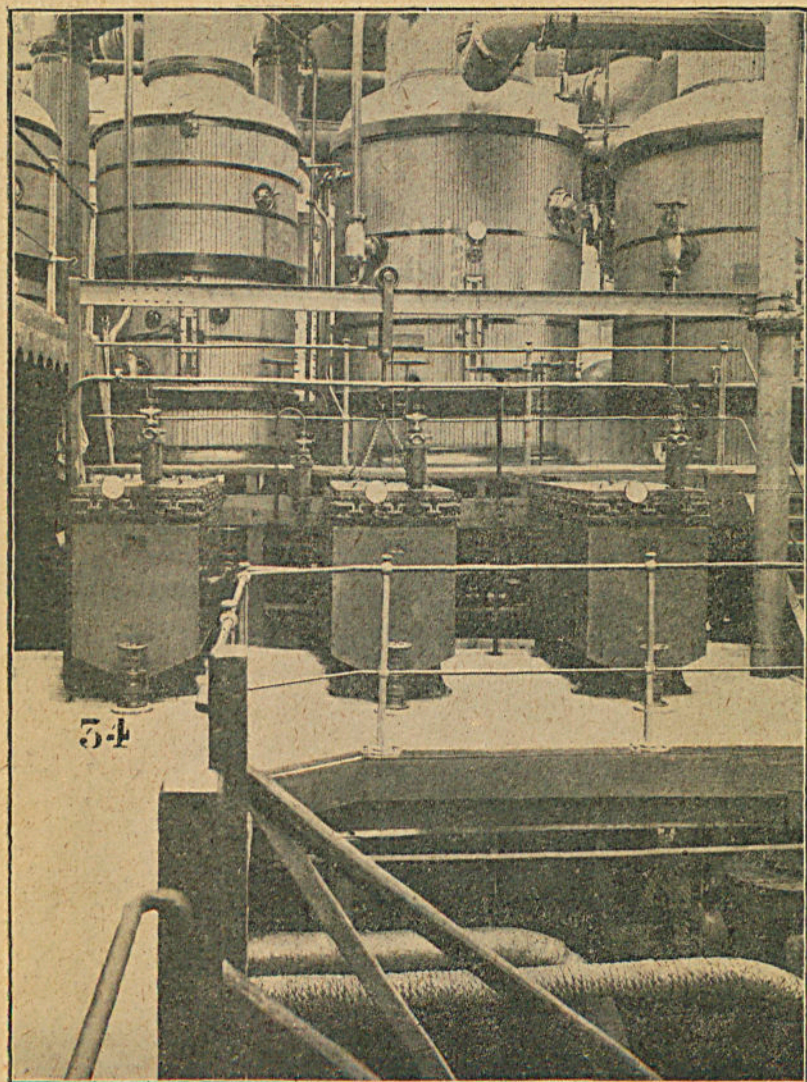


Fig. 129. — Installation de la filtration des sirops.

reusement contrôlé, de manière à éviter non seulement tout excès qui produirait une inversion mais aussi la production de bisulfite

de calcium, cause d'ennuis dans la suite de l'évaporation, par formation d'un nouveau dépôt (qui rendrait nécessaire une nouvelle filtration à la sortie du dernier corps d'évaporation) et même dans la composition du sucre produit. Il faut finir avec une alcalinité de 0 gr,05 par litre. Après l'action de l'acide, on chauffe vers 90° pour envoyer le sirop à la filtration.

Après filtration le jus est introduit dans la dernière caisse de l'appareil d'évaporation, d'où il sort au degré convenable pour la cuite.

Traitements divers des sirops.

On a souvent tenté de faire subir des purifications au sirop. L'expérience paraît avoir définitivement établi que, en dehors de la sulfitation et de l'hydrosulfitation qui se pratiquent avantageusement sur les sirops de moyenne concentration, de préférence au jus, c'est sur le jus même qu'il faut agir pour obtenir la meilleure purification par des agents chimiques ; et nous avons vu que pour la sucrerie de betteraves les agents classiques chaux et acide carbonique sont seuls d'emploi courant du moins dans les procédés ordinaires d'extraction de jus. On peut y ajouter cependant l'emploi du superphosphate qui donne parfois de très bons résultats, par exemple dans le traitement des jus concentrés obtenus par le procédé de dessiccation des cossettes. Signalons toutefois parmi les procédés proposés pour le travail des sirops :

L'emploi de la baryte concurremment avec la sulfitation.

L'emploi des phosphates acides de chaux ou de baryte.

L'emploi du zinc en poudre avec l'acide sulfureux donnant de l'acide hydrosulfureux. Bien entendu l'emploi des hydrosulfites préparés à part s'est substitué à la formation d'hydrosulfite dans l'appareil même.

L'emploi d'aluminium en poudre ou d'aluminium activé par amalgamation que nous citerons pour mémoire.

Quand on fait l'essai d'un procédé de purification appliqué aux sirops il faut tout d'abord s'assurer qu'on opère sur un sirop provenant d'un jus qui a lui-même subi l'épuration totale possible. Dans ces conditions en dehors de l'emploi des hydrosulfites et du noir aucun moyen autre de purification n'est judicieux.

Traitement par les noirs décolorants.

Quel que soit le mode exact d'action qui caractérise le noir décolorant agissant sur les sirops, chimique, physique, ou mécanique, ou peut-être procédant de chacun d'eux, il nous paraît opportun d'étudier ici la question.

Rappelons d'abord sommairement quelques données historiques et quelques principes.

La propriété du pouvoir décolorant et épurant du charbon de bois a été découverte par Lowitz en 1785. Guillon en fit l'application à la purification

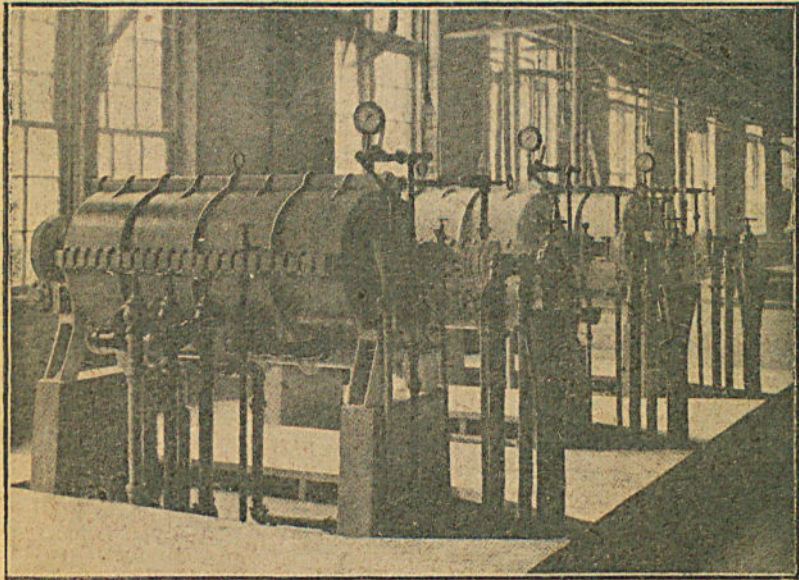


Fig. 130. — Filtres Vallez pour sirops.

des sirops à Paris en 1805. Figuiet découvrit en 1811 que l'action du noir provenant de la calcination des os, ou noir animal, est beaucoup plus énergique. Derosne en fit l'application à la sucrerie de cannes et à la raffinerie ; l'emploi en devint bientôt général. Payen en 1822 publia une brochure sous le titre « Mémoire sur les charbons; théorie de l'action du noir animal » qui contient aussi bien sur l'action des charbons végétaux que sur l'action du noir animal des données qui n'ont guère été augmentées depuis cette époque.

Les progrès qui ont été réalisés en sucrerie vers 1883 ont amené d'une manière générale la suppression du noir animal. Max Ledocte supprima le noir à la sucrerie de Gembloux pendant la campagne 1882-1883. Pellet préconisa ce progrès en France. L'augmentation de pureté de la betterave était nécessaire

pour que la suppression du noir fut possible. L'emploi de la filtration mécanique se généralisa à cette époque et était aussi nécessaire pour que le travail sans noir soit pratiqué. Cependant il existe ou existait il y a peu de temps des sucreries qui l'employaient encore sous la forme primitive.

Mais voici qu'une réaction s'est produite ou plus exactement un retour aux anciennes pratiques et le noir reprend droit de cité, mais sous forme à la vérité bien différente de celle que Figuié préconisait. Nos connaissances en chimie des colloïdes justifient cette méthode nouvelle.

On se trouve aujourd'hui en possession, à côté du noir animal ou noir d'os, de noirs végétaux de provenances diverses doués de pouvoirs décolorants très supérieurs à celui du charbon de bois. Il est d'ailleurs incontestable que l'emploi du noir, quelle que soit son origine, sous forme de poudre fine, évite de recourir à de coûteuses installations et que c'est là un avantage considérable.

Le mode de fabrication de ces nouveaux noirs n'est généralement pas connu dans ses détails.

Les diverses sortes de noirs.

Sauer classe ainsi les divers charbons « activés » dont dispose l'industrie. On aurait pu adopter un autre ordre de classification; mais l'auteur est particulièrement partisan du produit qu'il classe en tête :

I. Charbons produits à l'aide de matières végétales et activés à l'aide de vapeur surchauffée ou d'acide carbonique à une température de 800 à 1200°.

Norite, éponite, batchite, dorsite.

II. Charbons préparés par distillation sèche à des températures de 200 à 500° de matières organiques végétales :

<i>Carbrox</i>	(résidus de riz ou de coton)
<i>Kelpchar</i>	(algues marines)
<i>Darco</i>	(lignite)
<i>Declowyle</i>	(tourbe)

III. Charbons préparés par carbonisation de matières imbibées de substances diverses puis débarrassés, après carbonisation, des matières solubles.

Carboraffine (avec le chlorure de zinc)

Fitchar, superfitchar, suchar, sulfit carbon, (avec produits résiduels de fabriques de papier).

IV. Charbons produits par calcination de substances organiques, amidon ou autres hydrates de carbone avec addition de farine fossile.

Molaschar.

V. Charbons produits par distillation de produits d'origine animale de 400 à 600°

Noir animal calcination des os.

a) noir ordinaire, grains ou poudre

b) noir épuisé par lavage à l'acide chlorhydrique ou sulfurique vendu en pâte
Bactanat, noir Flandrak, flarning, littoral.

VI. Charbon produit par la combustion d'hydrocarbures (peu absorbants).

Charbon de suie et les divers pigments noirs.

Bien entendu, cette liste n'est point complète et il existe dans le commerce d'autres types dont le mode de fabrication est comme pour la plupart de ceux ci-dessus indiqués d'ailleurs, tenu secret ou breveté.

Des essais faciles à faire permettent de se rendre compte de leur pouvoir décolorant et du prix auquel la décoloration est obtenue.

Les teneurs des divers noirs végétaux en matières minérales autres que le carbone sont très différentes de celle de la teneur en ces matières du noir animal.

Teneur en matière minérale des noirs décolorants principaux.

Noir animal	86 %
Noir Darco	26
Norit, Carboraffin	2

De même leur densité apparente à l'état pulvérulent est très différente.

	Poids de 100 cc
Noir animal	41 gr
Noir Darco	26 gr
Norit, Noir Carboraffin	14 gr

Les pouvoirs décolorants pour la mélasse sont très différents.

Si on représente par 100 le pouvoir décolorant du noir pour la mélasse ceux des autres noirs sont respectivement les suivants :

Noir Darco	160
Noir Carboraffin	275

Si on représente par 100 le volume occupé par un poids de noir animal en poudre, le volume occupé par le même poids des autres noirs, approximativement au même degré de finesse (passant au même tamis) on a les chiffres suivants :

Noir Darco	156
Noir Carboraffin	286

On voit que les chiffres sont sensiblement les mêmes que ceux des pouvoirs décolorants relatifs, ce qui veut dire que si on rapporte les pouvoirs décolorants à l'unité de volume on a sensiblement les mêmes valeurs. Or en pratique c'est là une observation fort importante, car si on considère l'emploi des noirs en poudre très fine — et c'est bien entendu seulement sous cette forme qu'il faut l'envisager — on aura des précipités volumineux avec les noirs végétaux dont le dégraissage sera difficile et constituera une cause sérieuse de perte.

Mais de plus, les noirs, suivant leur nature absorbent des quantités très différentes de sucre ; les noirs végétaux absorbent beaucoup plus de sucre ou de glucose que le noir animal.

En outre il convient de noter que les pouvoirs absorbants pour les substances autres que les produits colorés sont parfois aussi très différentes et sont souvent en défaveur de l'emploi des noirs végétaux : ceux-ci absorbent en effet des quantités considérables de sucre. Mais, par contre, l'absorption de chaux, qui peut être intéressante, est bien moindre avec les noirs végétaux qu'avec le noir animal.

Les noirs végétaux peuvent, comme le noir animal, être soumis à la revivification, ce qui est la condition essentielle de leur emploi économique.

Les procédés de revivification applicables aux divers noirs sont variables selon les conditions d'emploi de ces noirs, c'est-à-dire selon la nature des impuretés qu'ils ont absorbées et la cause de la diminution de leur pouvoir décolorant.

On sait que les charbons décolorants enlèvent non seulement des matières colorantes mais encore absorbent des matières colloïdales qui, en très faible quantité même, exercent une action fâcheuse au cours de l'évaporation en raison de leur viscosité et empêchent aussi la limpidité des sirops.

La faculté de pouvoir être absorbée par le noir est très différente pour les diverses matières colorantes qu'on rencontre en sucrerie de betteraves.

Si on traite par la même quantité de noir au même degré de finesse, deux solutions de même coloration dont l'une doit sa couleur à l'action de la chaux sur le glucose et l'autre la doit à du caramel on observera ce qui suit : le noir absorbera environ quatre fois moins de la couleur due à l'action de la chaux sur le glucose.

Le noir animal est employé le plus souvent en grains dans les raffineries. C'est un mode d'emploi qui est habituellement fort coûteux en raison des quantités considérables de noir immobilisé et du matériel encombrant qu'il nécessite. Le rendement du produit décolorant est extrêmement faible car on est obligé de revivifier le noir après enlèvement d'une très faible quantité de matière colorante par unité de poids de noir employé. C'est qu'en effet la décoloration totale d'un sirop est proportionnellement beaucoup plus difficile que la décoloration partielle ; c'est-à-dire que les dernières portions de matières colorantes ne peuvent être enlevées que par passage sur un noir très fraîchement revivifié.

En pratique, on obtient, par passage d'un même sirop sur une colonne de noir en grains, un produit dont la coloration varie sans cesse, les toutes premières portions seules étant très décolorées. Mais la fixation des matières en suspension contenues dans le sirop par le noir en grains est très marquée et on obtient des sirops très limpides. En d'autres termes, les colonnes de noir en grains des raffineries sont surtout des filtres qui immobilisent un énorme capital.

La quantité de sirop retenue par le noir en grains est très considérable, le dégraissage est long et coûteux car il donne des quantités importantes de petits jus de faible densité entraînant des pertes importantes à la concentration.

Les noirs végétaux qui sont employés en poudre permettent des opérations beaucoup plus logiques, car en partant d'un volume donné de sirop à décolorer on obtient la totalité du produit à décolorer sous forme d'un produit identique. On met en œuvre des quantités de matière vingt fois moindres et le matériel, tant de filtration proprement dite que de revivification, est beaucoup plus réduit.

Les noirs végétaux sont en général susceptibles de se revivifier par des méthodes plus variées que celles qui sont applicables au noir animal. Les réactifs alcalins ou acides, la vapeur surchauffée, sont applicables aux noirs végétaux alors que le noir animal ne peut pratiquement être revivifié que par le chauffage au rouge sombre dans les fours à l'abri de l'air, après qu'il a d'ailleurs subi un lavage parfait.

CHAPITRE II

LA CUIITE

Généralités.

La cuite est l'opération par laquelle on achève la concentration des sirops jusqu'à l'amener au point de sursaturation qui permet la cristallisation du sucre. Celle-ci se fait dans l'appareil à cuire lui-même. On a généralement renoncé aujourd'hui à pratiquer un système de cuite qui consistait à sursaturer le sirop jusqu'à un point donné puis à vider le contenu de l'appareil à cuire dans un récipient où il cristallisait. Cette cuite était dite *cuite au filet* parce que pour déterminer le point convenable de cuisson le cuiseur prenait un peu de sirop entre ses doigts : il devait par refroidissement se produire un *filet* indiquant une concentration suffisante. La méthode moderne de cuite consistant à provoquer la formation du grain dans l'appareil, à le développer jusqu'au point voulu de grosseur de cristaux se nomme *cuite en grains*. Elle constitue une opération assez délicate et même certaines personnes disent une sorte d'art ; ou si l'on veut une opération où la réussite dépend d'un grand nombre de facteurs, en sorte que malgré les lois qui régissent les phénomènes qui interviennent, c'est encore à un certain empirisme qu'on a recours.

Il convient cependant de remarquer qu'aujourd'hui, en raison de la régularité du travail qui précède la cuite, dans la plupart des usines le fabricant est en possession d'une méthode de cuisson appropriée à son installation, qui lui permet d'effectuer la cuite avec certitude, quel que soit l'ouvrier qui en est chargé, à condition de le surveiller convenablement ; autrefois au contraire la réussite dé-

pendait entièrement du *cuisseur* qui semblait posséder des secrets particuliers et paraissait un homme indispensable.

Disons de suite que la cuite provenant de l'évaporation donne une masse cuite dite de premier jet formée de grains et d'une eau-mère, ou égout de 1^{er} jet, encore très pure. Cet égout est donc susceptible, par une nouvelle concentration de fournir une nouvelle masse cuite dite de 2^e jet. A son tour l'égout du 2^e jet peut donner lieu à la formation d'une masse cuite de 3^e jet. C'est alors seulement que l'égout, ne pouvant plus par une nouvelle concentration donner lieu à la formation de cristaux qu'on en puisse séparer, constitue la mélasse.

En réalité, cette marche théoriquement simple n'est pas suivie actuellement. Au sirop provenant de l'appareil d'évaporation (dit sirop d'usine) on ajoute des égouts provenant d'opérations précédentes. On arrive ainsi dans beaucoup de cas à ne pas faire de cuite de 3^e jet.

Principes de la cristallisation du sucre.

A une température déterminée maintenue constante, un poids de solvant dissout un certain poids d'un corps soluble quand le solvant est mis en contact avec un excès de ce corps.

La solution ainsi obtenue est une *solution saturée*.

Pour l'unité de poids du solvant, le poids de corps dissous est le *coefficient de solubilité* du corps à la température considérée.

Le coefficient de solubilité d'un corps dans un liquide donné diminue avec la température parfois dans une très grande mesure. Tel est le cas du sucre.

Si on abaisse la température de la solution une certaine quantité du corps dissous ne peut plus être maintenue en dissolution : elle précipitera à l'état cristallin.

Mais on constate cependant dans certaines conditions que la précipitation du corps dissous solide ne se produit pas, ou tout au moins ne se produit pas intégralement ; c'est-à-dire qu'il reste en solution une quantité du corps soluble supérieure à celle qu'indique son coefficient de solubilité à la température considérée.

Une telle solution est dite *sursaturée*.

Les coefficients de solubilité du sucre dans l'eau varient beaucoup avec la température.

Le phénomène de *sursaturation* est très marqué avec les solutions sucrées.

La sursaturation d'une solution sucrée peut aussi bien être réalisée par l'abaissement de la température que par la diminution de la quantité d'eau en présence (évaporation)

Influence de divers éléments sur la solubilité du sucre dans l'eau.

On sait que dans une dissolution de plusieurs corps dans un même solvant chacun des corps se dissout comme s'il était seul.

Les matières organiques ou minérales qui lors de la diffusion passent dans le jus sucré avec le sucre et qui ne sont pas éliminées au cours des opérations d'épuration modifient la solubilité du sucre dans l'eau.

On désigne globalement sous le nom de *non-sucre* les matières solubles qui se retrouvent à la fin de la fabrication. D'une manière générale elles augmentent la solubilité du sucre dans l'eau ; on peut dire, en d'autres termes que le sucre est plus soluble dans une dissolution de non-sucre que dans l'eau.

Il est évident que l'influence des différents éléments sur la solubilité du sucre n'est pas la même pour l'unité de poids de ceux-ci. Chacun d'eux a un coefficient *mélassigène* particulier qui peut être d'ailleurs négatif. Il y a en effet certaines substances qui, au lieu de contrarier, favorisent la cristallisation du sucre. Mais, de plus, le phénomène peut encore se compliquer et le coefficient mélassigène d'une substance peut varier avec sa proportion dans le mélange. C'est ce qui se produit avec le chlorure de calcium et le carbonate de potassium par exemple.

Actions particulières sur la viscosité.

Dans la plupart des cas les substances mélassigènes agissent en augmentant le coefficient de solubilité, comme cela se passe couramment dans les mélanges de sels. Dans d'autres cas il y a action mélassigène en raison de l'augmentation de la viscosité que pro-

duit la substance : il y a une sorte d'action mécanique. Tel est le cas des ferments qui transforment le jus en gelée et donnent un

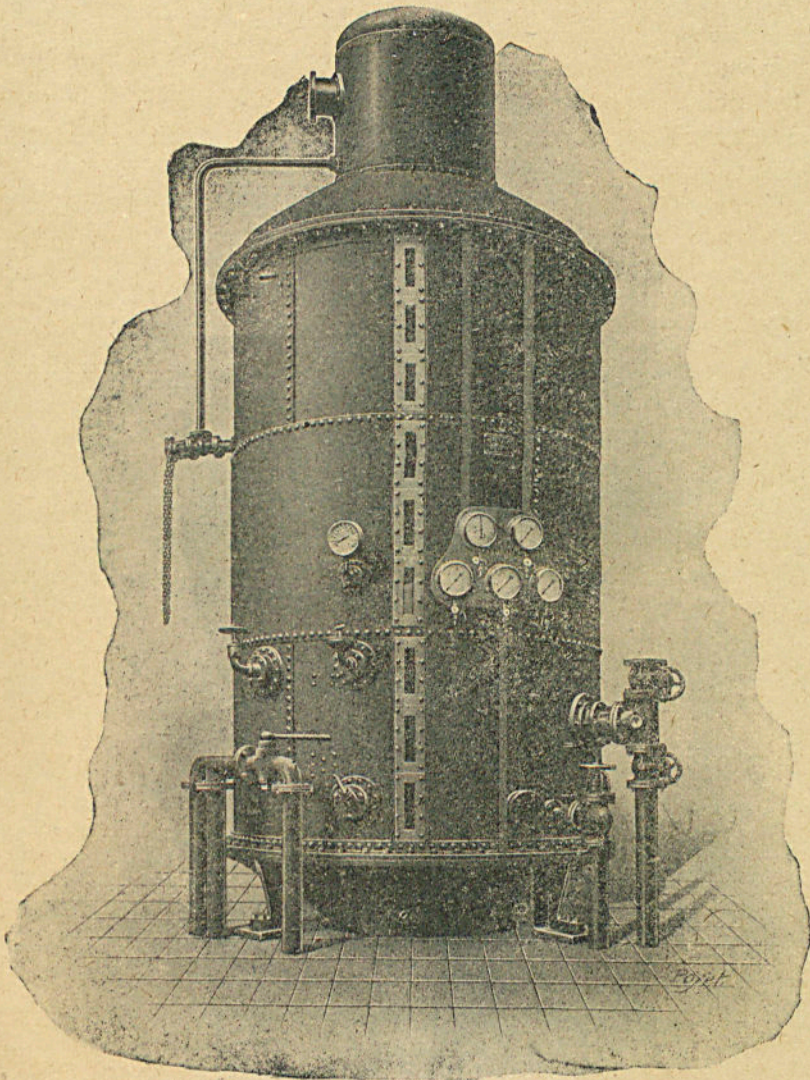


Fig. 131. — Appareil à cuire (Etablissements Maguin).

produit d'une viscosité extraordinaire ; en sorte qu'une quantité très limitée de la substance peut déterminer une action très manifeste.

Inversement l'addition aux solutions sucrées de produits en très faible quantité, comme les hydrosulfites, produit des effets que les praticiens constatent de manière incontestable, dans le sens de la facilité de cristallisation. La véritable cause n'est pas toujours facile à mettre en évidence. L'application des méthodes de la chimie physique et en particulier de la chimie des colloïdes à la sucrerie, ne manquera pas d'apporter des explications rationnelles des faits constatés ; et bien entendu à coup sûr de cette connaissance raisonnée des faits découlera des applications nouvelles.

Accroissement des cristaux. — L'accroissement de cristaux se fait par une attraction des molécules du corps en dissolution par la surface du cristal déjà formé. Si on considère une solution saturée en voie de cristallisation par concentration de son eau-mère (soit par refroidissement soit par évaporation) la quantité de matière dont s'augmenteront les cristaux déjà formés, en un temps donné, sera d'autant plus grande que leur surface sera plus grande, par conséquent que ces cristaux seront plus petits.

De la sursaturation.

Ainsi donc pour que des cristaux puissent se former dans une solution sucrée il faut que cette solution soit *sursaturée* ; et cette condition doit être également remplie pour que les cristaux déjà formés puissent grossir.

Mais la grosseur des cristaux formés ayant une importance capitale — puisque des cristaux trop petits, ne pouvant être séparés de leur eau-mère sont pratiquement sans intérêt — il convient de noter que les conditions propres à la formation de nouveaux cristaux ou à l'accroissement de cristaux existants ne sont pas les mêmes. Il convient de les connaître pour pouvoir à volonté réaliser les unes ou les autres.

Si nous appelons *Si* la quantité de sucre dissous dans 100 parties de solution sucrée impure à une température donnée ; *S* la quantité de sucre dissous dans 100 parties de solution saturée de sucre pur à cette même température, le rapport

$$\frac{Si}{S} = c$$

est le coefficient de sursaturation.

Dans la pratique *Si* se détermine expérimentalement. *S* est donné par la table de solubilité du sucre dans l'eau.

Cette considération de la sursaturation n'a pas seulement la

valeur d'une notion théorique ; le coefficient de sursaturation est pour chaque produit une donnée pratique de grande importance, dont la détermination doit couramment être faite dans une sucrerie bien conduite.

Elle est d'ailleurs assez délicate à pratiquer ; il faut en effet

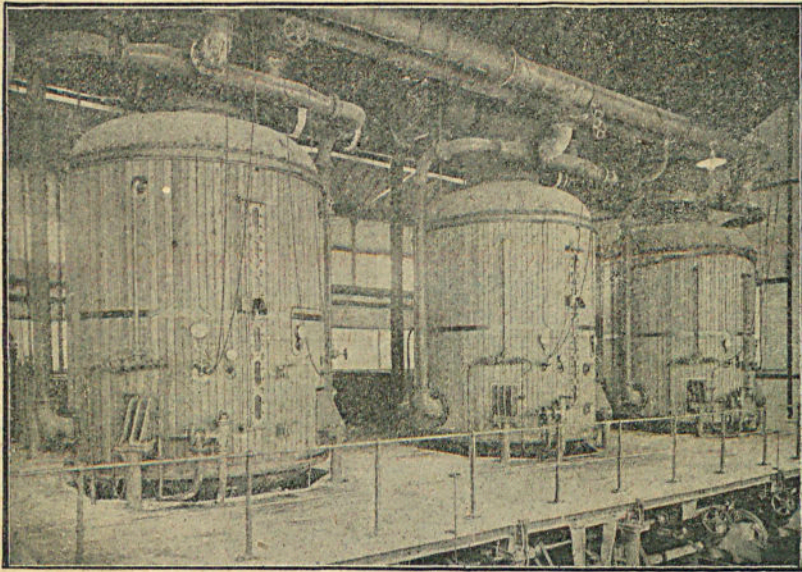


Fig. 132. — Appareils à cuire (Cliché Fives-Lille).

procéder au prélèvement de l'échantillon et à la séparation des cristaux sans qu'il y ait cristallisation et en recueillant réellement tous les cristaux, sans quoi on a un chiffre qui s'applique à la petite quantité de matière mise en œuvre, mais non au produit existant réellement dans l'appareil industriel. La détermination est d'autant plus difficile à effectuer avec précision qu'on a affaire à un produit plus chaud et plus pur, ayant par conséquent plus de chance de donner lieu pendant la manipulation à une cristallisation qui fausserait le résultat.

Nous avons dit que l'influence de chacune des impuretés qui accompagne le sucre dans les produits de l'usine avait une action particulière sur la solubilité du sucre ; pour une même pureté les coefficients de sursaturation doivent donc varier avec chaque usine. En réalité, surtout pour les produits de pureté élevée ou moyenne, les coefficients de sursaturation présentent cependant

une constance suffisante d'une usine à l'autre et aussi dans une même usine pendant les campagnes successives, pour qu'on puisse se baser pour le réglage du travail sur des chiffres admis une fois pour toutes.

M. Fradiss a publié une table donnant pour les différentes températures et toutes les puretés des produits provenant de la betterave le poids de sucre dissous dans 1 kilog. d'eau.

Table de Fradiss

Poids de sucre en kilogrammes dissous par 1 kg. d'eau dans les solutions sucrées de diverses puretés et à différentes températures.
(Pour les solutions sucrées provenant de la betterave)

Quotients de pureté	Températures												
	95°	90°	85°	80°	75°	70°	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°
100 d'après Herzfeld	4,48	4,15	3,85	3,62	3,40	3,20	3,03	2,86	2,73	2,60	2,49	2,38	2,28
99	4,48	4,15	3,85	3,62	3,40	3,20	3,03	2,86	2,73	2,60	2,49	2,38	2,28
98	4,49	4,16	3,86	3,63	3,41	3,20	3,03	2,87	2,73	2,60	2,49	2,38	2,29
97	4,49	4,16	3,86	3,63	3,41	3,21	3,05	2,88	2,75	2,61	2,49	2,38	2,29
96	4,50	4,17	3,87	3,64	3,42	3,22	3,06	2,89	2,76	2,62	2,50	2,39	2,30
95	4,51	4,18	3,88	3,65	3,43	3,22	3,06	2,89	2,76	2,63	2,51	2,39	2,31
94	4,53	4,20	3,92	3,67	3,46	3,24	3,09	2,91	2,77	2,63	2,52	2,40	2,31
93	4,55	4,22	3,92	3,68	3,46	3,25	3,09	2,91	2,77	2,64	2,53	2,42	2,33
92	4,57	4,23	3,93	3,70	3,47	3,26	3,09	2,92	2,78	2,65	2,54	2,42	2,33
91	4,59	4,25	3,95	3,71	3,48	3,28	3,10	2,93	2,80	2,66	2,55	2,43	2,34
90	4,61	4,27	3,97	3,73	3,49	3,29	3,12	2,94	2,81	2,68	2,56	2,45	2,34
89	4,63	4,29	3,99	3,75	3,51	3,31	3,15	2,96	2,83	2,70	2,58	2,46	2,36
88	4,68	4,33	4,02	3,78	3,55	3,33	3,16	2,98	2,85	2,71	2,60	2,48	2,38
87	4,71	4,36	4,05	3,80	3,58	3,36	3,18	3,00	2,87	2,73	2,61	2,50	2,39
86	4,75	4,40	4,09	3,83	3,60	3,39	3,21	3,02	2,89	2,75	2,63	2,52	2,41
85	4,77	4,40	4,10	3,85	3,62	3,41	3,22	3,04	2,91	2,77	2,65	2,53	2,43
84	4,81	4,46	4,13	3,89	3,65	3,44	3,25	3,07	2,93	2,79	2,67	2,55	2,45
83	4,85	4,49	4,17	3,92	3,68	3,46	3,28	3,10	2,95	2,81	2,69	2,57	2,47
82	4,89	4,53	4,20	3,95	3,71	3,49	3,31	3,12	2,98	2,84	2,72	2,60	2,49
81	4,92	4,57	4,24	3,99	3,74	3,54	3,34	3,15	3,01	2,86	2,74	2,62	2,51
80	4,97	4,60	4,27	4,01	3,77	3,55	3,36	3,17	3,03	2,88	2,76	2,64	2,53
79	5,01	4,64	4,31	4,06	3,80	3,58	3,39	3,18	3,05	2,91	2,78	2,66	2,55
78	5,06	4,68	4,35	4,09	3,84	3,61	3,42	3,23	3,08	2,92	2,81	2,68	2,57
77	5,10	4,72	4,37	4,13	3,88	3,64	3,45	3,26	3,12	2,94	2,82	2,70	2,59
76	5,15	4,77	4,42	4,16	3,91	3,68	3,48	3,28	3,13	2,99	2,86	2,73	2,62
75	5,19	4,82	4,46	4,20	3,94	3,71	3,51	3,31	3,15	3,01	2,89	2,75	2,64
74	5,24	4,85	4,50	4,23	3,97	3,74	3,54	3,34	3,19	3,04	2,91	2,78	2,66
73	5,29	4,90	4,55	4,28	4,02	3,78	3,58	3,38	3,22	3,07	2,94	2,81	2,69
72	5,34	4,95	4,59	4,32	4,05	3,82	3,61	3,41	3,25	3,10	2,97	2,84	2,72
71	5,39	5,00	4,63	4,36	4,09	3,85	3,65	3,44	3,28	3,13	3,00	2,86	2,74
70	5,44	5,05	4,68	4,40	4,13	3,89	3,68	3,47	3,31	3,16	3,02	2,89	2,77
69	5,49	5,09	4,72	4,44	4,17	3,92	3,71	3,50	3,34	3,19	3,05	2,92	2,79
68	5,55	5,14	4,77	4,48	4,21	3,96	3,75	3,54	3,38	3,22	3,08	2,94	2,82
67	5,60	5,18	4,81	4,52	4,25	4,00	3,78	3,57	3,41	3,25	3,11	2,97	2,85
66	5,65	5,23	4,85	4,56	4,29	4,03	3,82	3,60	3,44	3,28	3,14	3,00	2,87
65	5,70	5,28	4,90	4,60	4,32	4,07	3,85	3,64	3,47	3,30	3,16	3,02	2,90
64	5,74	5,32	4,93	4,64	4,36	4,10	3,88	3,66	3,50	3,33	3,19	3,05	2,92
63	5,79	5,36	4,97	4,68	4,39	4,13	3,91	3,69	3,52	3,36	3,21	3,07	2,94
62	5,84	5,41	5,02	4,72	4,43	4,17	3,95	3,72	3,55	3,39	3,24	3,10	2,97
61	5,89	5,45	5,05	4,76	4,47	4,20	3,98	3,76	3,58	3,41	3,27	3,12	2,99
60	5,94	5,50	5,10	4,80	4,50	4,24	4,01	3,79	3,61	3,44	3,30	3,15	3,02
59	5,98	5,54	5,14	4,83	4,54	4,27	4,05	3,82	3,65	3,47	3,32	3,18	3,04
58	6,03	5,59	5,18	4,87	4,58	4,31	4,08	3,85	3,68	3,50	3,35	3,20	3,07

Ces chiffres sont donc les valeurs moyennes S_i du rapport précédent ; les valeurs de S sont d'ailleurs portées en regard de la pureté 100 c'est-à-dire pour la solution de sucre pur.

Pour qu'un sirop puisse cristalliser il faut qu'il contienne une quantité de sucre supérieure à la quantité correspondante à la saturation. Soit S'_i cette quantité de sucre ; il faut que $\frac{S'_i}{S_i}$ soit plus grand que 1.

Claassen a fait de nombreuses expériences qui lui ont permis de fixer les limites dans lesquelles doivent être maintenus les coefficients de sursaturation

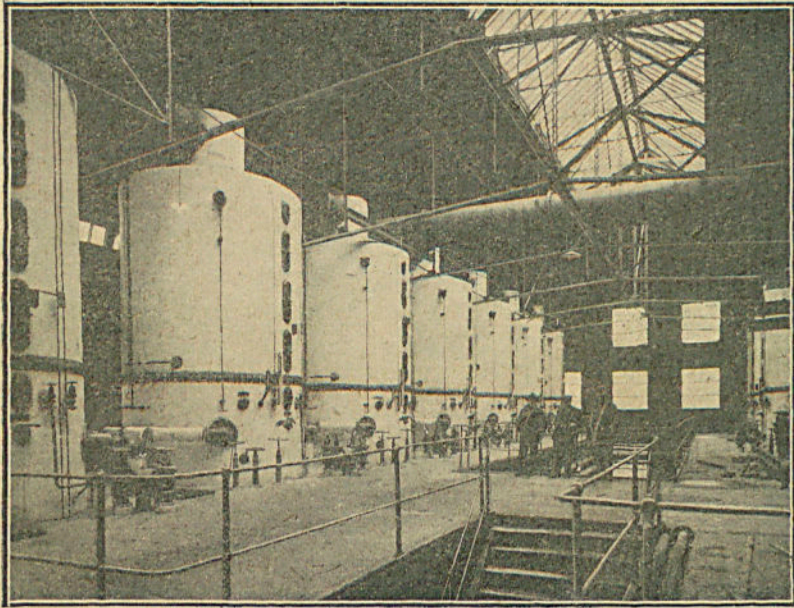


Fig. 133. — Vue d'ensemble des appareils à cuire les premiers jets à la Sucrierie d'Eppeville.

turation pour réaliser soit dans la cuite (où se fait la sursaturation par évaporation d'eau) soit dans les malaxeurs (où se fait la sursaturation par refroidissement) une cristallisation conforme au but qu'on veut atteindre.

Pour permettre la formation de cristaux le coefficient de sursaturation doit être compris entre 1,25 et 1,50.

Pour provoquer l'accroissement des cristaux existants sans déterminer la formation de nouveaux cristaux le coefficient de sursaturation doit être maintenu entre 1,05 et 1,20.

Les coefficients sont sensiblement les mêmes quelle que soit la pureté du produit. Mais la cristallisation pour un même coefficient est *plus rapide* avec les sirops purs qu'avec les sirops impurs.

Appareils à cuire.

L'appareil à cuire doit remplir un double but. 1° *Permettre la concentration du sirop.* Nous avons vu qu'on y introduit du sirop ayant une densité correspondant à environ 60° Brix. C'est là un degré de concentration qui est fort loin de correspondre au point de cristallisation.

2° *Etre appropriée à la production de cristaux.* On pratique en effet de plus en plus, si ce n'est pas presque exclusivement, la cuite en grains.

L'appareil à cuire présente dans son ensemble les dispositions d'une caisse d'appareil à évaporer ordinaire pouvant être aussi bien verticale qu'horizontale et, en fait, si les appareils à cuire sont en France pour ainsi dire toujours verticaux on en rencontre surtout en Autriche qui sont horizontaux. Les appareils horizontaux sont généralement formés d'une caisse rectangulaire surmontée d'une partie en forme de demi-cylindre. Notons que les premiers appareils à cuire de Rillieux étaient constitués par une caisse horizontale faisant suite à une caisse d'évaporation de même forme.

L'appareil à cuire vertical qu'on trouve encore le plus répandu en France est formé d'une calandre en tôle fixée sur un fond de fonte supporté par des colonnes de fonte. La partie supérieure est formée d'une coupole également en fonte (fig. 131, 132, 133).

L'appareil est chauffé par trois serpentins qui sont reliés par trois tubulures distinctes, commandées chacune par une soupape, à la conduite de vapeur (fig. 134).

Les vapeurs qui se produisent pendant la concentration du sirop sont évacuées par une tubulure qui est fixée sur le dôme qui surmonte la calotte.

Le sirop à cuire est amené par un tuyau au niveau, généralement, du deuxième serpentin.

La vidange de la masse cuite s'effectue par une porte qui doit être assez largement calculée pour que la vidange de l'appareil soit rapide. Il importe que les rebords sur lesquels s'applique la soupape formant la porte soient bien dressés pour que la fermeture soit hermétique. On a souvent substitué au fond sphérique un fond conique qui aide à l'écoulement de la masse cuite.

L'appareil à cuire est en outre muni des accessoires suivants :

A la sortie de chaque serpentin est fixé un tuyau qui le relie à un collecteur aboutissant à un extracteur d'eau condensée ou à une pompe.

Chaque serpentin est muni d'un clapet de retenue empêchant le retour en arrière de l'eau condensée à l'intérieur du serpentin.

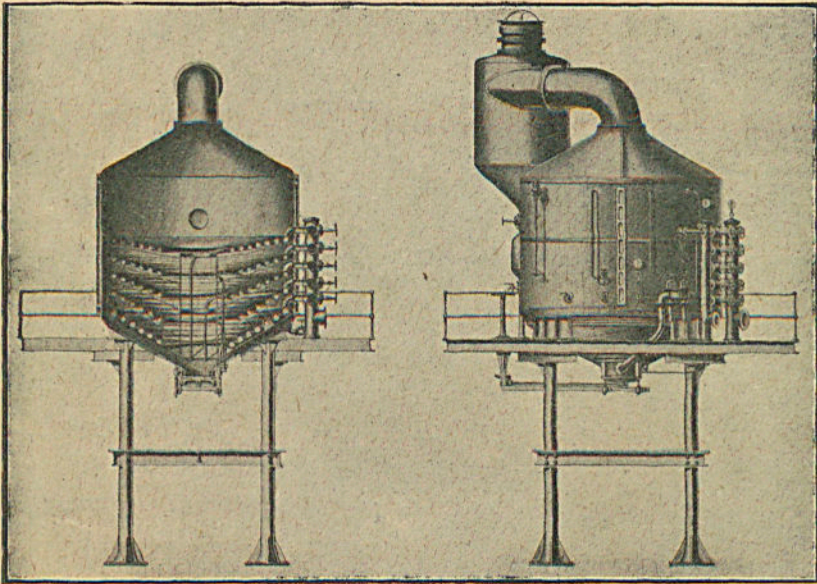


Fig. 134. — Appareil à cuire avec serpentin ordinaire.

Une conduite d'eau et une conduite de vapeur débouchent en outre dans l'appareil pour qu'on puisse procéder à son nettoyage.

L'introduction d'eau et même de vapeur sont d'ailleurs parfois utiles au cours de la cuite. Le barbotage de vapeur peut en effet être précieux pour assurer une agitation énergique d'une masse cuite devenue trop difficile à mettre en mouvement.

A la partie supérieure est une ouverture fermée par un bouchon à vis qui peut être rapidement manœuvré pour faire rentrer l'air (ce qu'on appelle *casser le vide*) et permettre l'écoulement de la masse cuite. Un manomètre est fixé sur la conduite de vapeur pour

indiquer la pression sur les serpentins ; un autre manomètre ou *indicateur de vide* indique le vide existant dans l'appareil.

On ménage sur la plus grande partie de la hauteur de la calandre une ou plusieurs ouvertures munies de glaces et éclairées par une lampe pour suivre la marche de la cuite.

L'appareil doit être muni d'un thermomètre ; de plus on y place un robinet à beurre dans lequel on introduit du beurre de coco pour faciliter la mise en route de la cuite, lorsque cela est nécessaire. A la partie inférieure de la calandre on ménage une ouverture pour la *sonde*. Elle est formée d'une longue tige cylindrique en bronze qui glisse dans une monture de même métal fixée sur la calandre. La tige porte une petite encoche où viendra se loger une certaine quantité de la masse cuite dans laquelle elle plonge et que le cuiseur ramènera à lui pour l'examiner et suivre les progrès de la cristallisation.

Pour observer la formation des cristaux et leur développement le cuiseur doit en outre avoir à sa disposition des plaques de verre (généralement des plaques 13×18) sur lesquelles il fait tomber la matière prélevée dans l'appareil à l'aide de la sonde et qu'il examine en couche mince, en grande lumière.

Pendant une partie de l'opération de la cuite l'appareil à cuire doit évaporer une assez grande quantité d'eau ; l'ébullition y est fort active et les entraînements de sucre peuvent être importants.

Aussi dispose-t-on, comme dans les appareils d'évaporation, des vases de sûreté ou ralentisseurs qui sont placés sur le dôme ou latéralement sur le trajet de la conduite de vide vers le condenseur.

La capacité des chaudières à cuire verticales est très variable suivant l'importance des usines : il s'en trouve de 25 hectolitres qui servent à faire le pied de cuite. En général elles ont 150 hectolitres.

On en trouve exceptionnellement dans de très grandes usines allant à 5 m, 50 de diamètre avec une capacité de 600 hectolitres.

La surface de chauffe de chaudières verticales à gros serpentins est habituellement très réduite, généralement 40 m² pour les trois serpentins dans les appareils de 150 hectolitres. Cette surface se trouve souvent relativement plus réduite encore parce que les fabricants ont fait surélever la calandre pour avoir une plus grande capacité.

Bien entendu ces chaudières, avec d'aussi faibles surfaces de chauffe, exigent l'emploi de vapeur directe. On a donc dû recourir à d'autres dispositifs pour utiliser les vapeurs prélevées sur l'appareil d'évaporation.

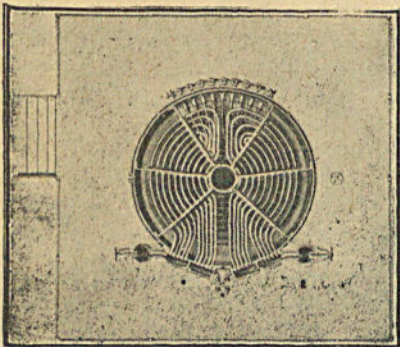
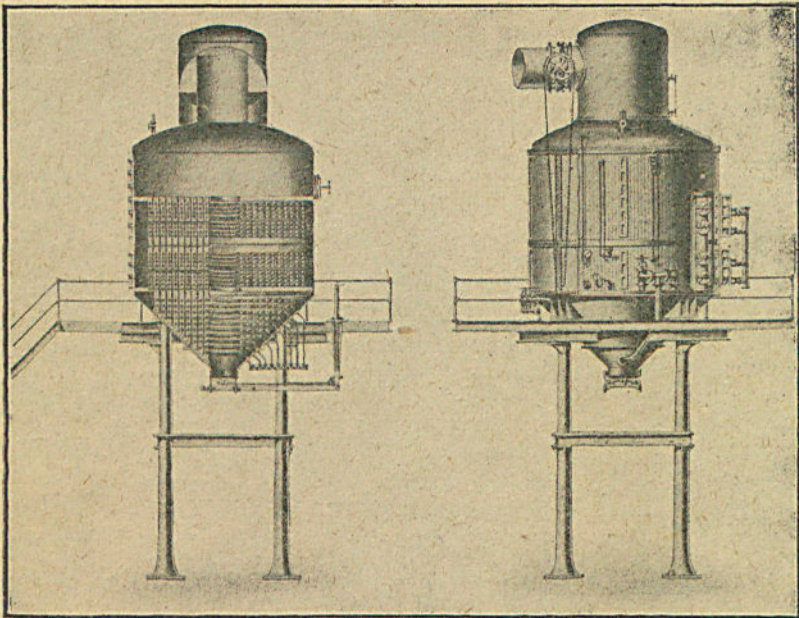


Fig. 135. — Appareil à cuire avec serpent
tin en forme de lyre (élévation, coupe
verticale et coupe horizontale).

Systèmes divers de chauffage des appareils à cuire. —

On a surtout cherché à éviter les trop longs circuits parcourus par la vapeur.

Dans le système *Greiner* un grand nombre de tubes de fer d'un diamètre de 44 mm sont disposés en spires formant un ensemble cylindro-conique suspendu dans la chaudière ; les faisceaux formés par ces tubes constituent des circuits très courts qui peuvent être chauffés séparément étant reliés isolément à des colonnes de distribution de vapeur, le tout caractérisé par un montage facile ; l'eau condensée se réunit dans un seul tube d'évacuation. L'alimentation se fait par un seul distributeur dans lequel on fait arriver telle vapeur que l'on veut.

Les appareils à *surface de chauffe en lyre* (fig. 128) comportent une série de tubes concentriques, dont chacun débouche séparément dans une chambre par où se fait l'arrivée de la vapeur et dans une autre chambre où se font les retours. Ces deux chambres qui sont en fonte et accolées extérieurement à la calandre sont divisées en cloisons, correspondant chacune à un tube, et munies chacune d'une soupape pour chauffer isolément les tuyaux correspondants d'un même plan horizontal et mettre successivement en chauffage chaque série à mesure que le niveau du liquide monte dans l'appareil.

Afin de pouvoir utiliser dans la cuite à la fois de la vapeur vive ou de la vapeur d'échappement et de la vapeur prélevée sur les corps de l'appareil d'évaporation on a dû recourir à des systèmes de chauffage plus compliqués, utilisant à la fois soit des serpentins soit des lyres, et des *faisceaux tubulaires* analogues à ceux de appareils à évaporer.

Les faisceaux tubulaires des appareils à cuire qui en sont munis sont disposés au dessus des tubes ou serpentins, ceux-ci étant disposés dans le fond de l'appareil.

Le serpentin ou les tubes en lyre sont alimentés par la vapeur de jus tandis que le faisceau tubulaire peut recevoir à la fois de la vapeur directe et de la vapeur de jus.

Système de chauffage Witkowicz. — On remplace les serpentins par un système de radiateurs augmentant la surface de chauffe et pouvant être chauffés soit par la vapeur directe soit par la vapeur de jus ; ces appareils peu encombrants peuvent être ajoutés aux

serpentins. Nous décrirons parmi ces appareils ceux du système Witkowicz (fig. 136).

Ces appareils sont formés par un ensemble de tubes de laiton disposés en X qui sont logés dans une caisse rectangulaire en tôle. Ces tubes sont ouverts à leurs deux extrémités ; la masse liquide y

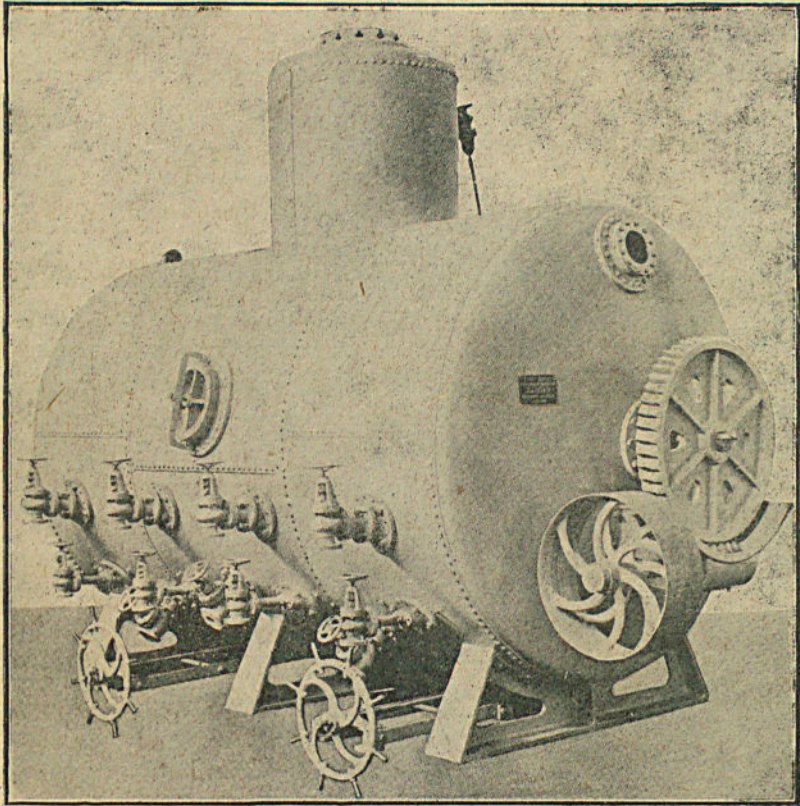


Fig. 136. — Appareil à cuire horizontal avec mouvement intérieur. Système Witkowicz.

pénètre librement, tandis que la vapeur circule dans la caisse.

On a construit de très grands appareils à cuire (comme ceux de la sucrerie d'Escaudœuvres ayant 850 hectolitres de capacité et 930 mètres carrés de surface de chauffe par l'emploi exclusif de faisceaux tubulaires ; dans ces appareils, il y a deux faisceaux

tubulaires de 5 mètres de diamètre et de 70 centimètres de hauteur de tubes ; le tube central a 50 centimètres de diamètre et livre passage à une hélice verticale.

Appareils horizontaux.

Les appareils à cuire horizontaux fort répandus en Autriche ont été un moment considérés comme ayant une supériorité marquée sur le type vertical employé des l'origine en France ; celui-ci a cependant prévalu. La figure 136 représente un des types les plus simples d'appareils à cuire horizontal, du système Witkowicz avec mouvement mécanique.

Nous citerons en outre parmi les appareils horizontaux les appareils du *système Wellner Jelinek* en forme de coffre, ayant une grande surface de chauffe produite par des tubes de très petits diamètres 25 ou 27 millimètres disposés en lignes verticales les uns au dessus des autres, assez espacés pour qu'ils ne forment pas obstacle à l'écoulement de la masse cuite ; ces appareils étaient d'ailleurs construits pour la production de masses cuites très serrées ; par crainte des entraînements ils ont une très grande hauteur au dessus du niveau qu'occupe le produit.

Les tubes de chauffage sont répartis en faisceaux groupant chacun dix tubes et disposés en deux, trois ou quatre chambres ou étages dont chacun reçoit une vapeur directe, de retour ou de jus ; on admet la vapeur successivement dans chaque étage comme on fait dans les serpents.

La vidange de ces appareils ne peut pas s'effectuer par la simple ouverture d'une porte ; l'emploi d'une hélice est nécessaire pour entraîner la masse cuite vers l'orifice.

L'*appareil Lexa-Hérol*d, dont on trouve des exemplaires en France, est caractérisé par un fond horizontal comportant deux panneaux montés sur galets et formant des portes manœuvrées par engrenages et moteurs électriques. Un joint hydraulique assure l'étanchéité de ces portes.

Ces appareils ont habituellement 160 m² de surface de chauffe représentée par 325 tubes de 4 m 75 de longueur et peuvent recevoir trois sortes de vapeur.

Les extrémités des tubes débouchent dans deux chambres de vapeur séparées verticalement en deux compartiments qui peuvent à volonté recevoir de la vapeur directe ou de la vapeur de jus prélevée sur le second corps. Cette disposition permet de chauffer une moitié avec de la vapeur directe et une moitié avec de la vapeur du second corps. Ce chauffage inégal produit un mouvement circulaire de la masse cuite qui détermine une agitation très active.

La disposition du chauffage de ces appareils détermine d'ailleurs une circulation très intense de la vapeur.

Ces appareils malgré leur complexité sont au total d'un maniement facile et permettent aisément d'effectuer la cuite sans dépense excessive de vapeur.

Appareils à mouvement mécanique

Des appareils de modèles très divers ont été construits pour assurer l'agitation de la masse cuite à la fin de la cuite à l'aide de mouvements mécaniques, et pousser l'épuisement plus loin que dans les appareils à cuire ordinaire (fig. 137).

Ces appareils sont en somme à la fois des appareils à cuire et des malaxeurs.

Bien souvent on ne les utilise que pour effectuer la nourriture des cristaux et le serrage de la cuite, la formation du pied de cuite étant produite dans une petite chaudière spéciale du type ordinaire.

Des modèles d'appareils à dispositifs mécaniques très divers ont été construits et beaucoup d'entre eux n'ont donné lieu qu'à des applications restreintes.

Dans ces appareils on pratique habituellement la rentrée des égoûts dont nous parlerons plus loin.

La cuite *Reboux* semble être le plus ancien appareil réalisant un véritable malaxage dans le vide. C'est un appareil horizontal cylindrique. Dans l'axe du cylindre tourne un axe qui porte des bras tournant lentement. Des groupes de tube en arcs de cercle reçoivent la vapeur. On effectuait d'ailleurs le grainage directement dans l'appareil. Pendant le grainage l'appareil mécanique n'était pas mis en mouvement.

La cuite *Grossé* était formée par une chaudière verticale très haute, chauffée à la partie supérieure par des serpentins. Au centre de l'appareil on a ménagé une large cheminée dans laquelle tourne un axe muni de palettes inclinées qui ramènent la masse cuite du bas à la surface. On grainait dans l'appareil.

La masse cuite séjourne très longtemps dans l'appareil ; l'inventeur conseil a.t une durée de cent soixante heures. On conçoit que de tels procédés sont fort coûteux.

Parmi les appareils basés sur un principe analogue, à savoir l'adjonction d'un mouvement mécanique à un appareil vertical, nous citerons l'*appareil Freitag*.

L'appareil à cuire Freitag comporte un chauffage dans le fond de l'appareil par des serpentins, et au dessus un corps tubulaire dont le tuyau central a un diamètre de soixante millimètres ; à l'intérieur passe une hélice qui monte jusqu'aux trois quarts de la hauteur de l'appareil. Cette hélice est animée d'un mouvement rapide, à environ soixante tours. La masse remonte dans le tube central et retombe par les tubes du faisceau tubulaire : la circulation est donc très intense. L'appareil Freitag n'est habituellement pas employé autrement que comme un simple appareil à cuire, c'est-à-dire sans y laisser séjourner la masse cuite au delà du temps normal d'une cuite.

Un type courant de cuite Freitag a les dimensions suivantes pour une capacité de 250 hectolitres : le diamètre de la calandre est de 3 m, la hauteur de 4 m ; les serpentins au nombre de deux ont une surface de chauffe de 30 m² et le corps tubulaire a 120 m².

Parmi les appareils munis d'importants dispositifs mécaniques nous citerons encore les *cuites Carlík*. Elles sont horizontales et comportent un chauffage à mouvement mécanique ; elles sont parfois employées pour achever la concentration de la masse cuite commencée dans un autre appareil. Le dessein de leurs inventeurs était surtout de produire des masses cuites de faible pureté très serrées.

La masse cuite impure, en raison de la plus grande solubilité du sucre dans l'eau en présence de non-sucre, a une très grande densité. La formation des bulles de vapeur est donc insuffisante pour produire le déplacement de la masse. Les hélices des appareils à mouvement hélicoïdal central sont également impuissantes à produire l'agitation nécessaire. Dans la cuite Carlík le mouvement est produit par un ensemble de faisceaux tubulaires animés d'un mouvement rotatif qui se déplace au sein de la masse cuite, laissant toujours une très faible hauteur au dessus de la surface chauffante.

On peut former le grain dans l'appareil lui-même mais habituellement on a recours à un autre appareil. L'opération dure habituellement 20 à 24 heures ; la cuite s'effectue à basse température avec des vapeurs prélevées sur le premier corps d'un quadruple effet.

Les cuites Carlík ont habituellement 300 hectolitres et pour une telle dimension la surface est habituellement de 35 m².

Pratique de la cuite.

La pratique de la cuite en grains comporte des modalités assez diverses suivant les conditions de travail particulières à chaque usine qui sont commandées à la fois par la nature des produits qu'on veut fabriquer et l'outillage dont on dispose.

On peut cependant fixer tout d'abord quelques principes généraux qui ne peuvent utilement être formulés que très sommairement, car seule la pratique peut dispenser au cuiseur un enseignement profitable.

Les opérations essentielles de la cuite en grains comportent les trois phases suivantes :

1° Formation du grain ou production du pied de cuite.

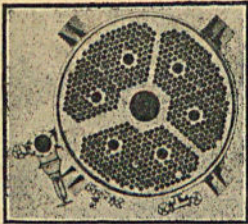
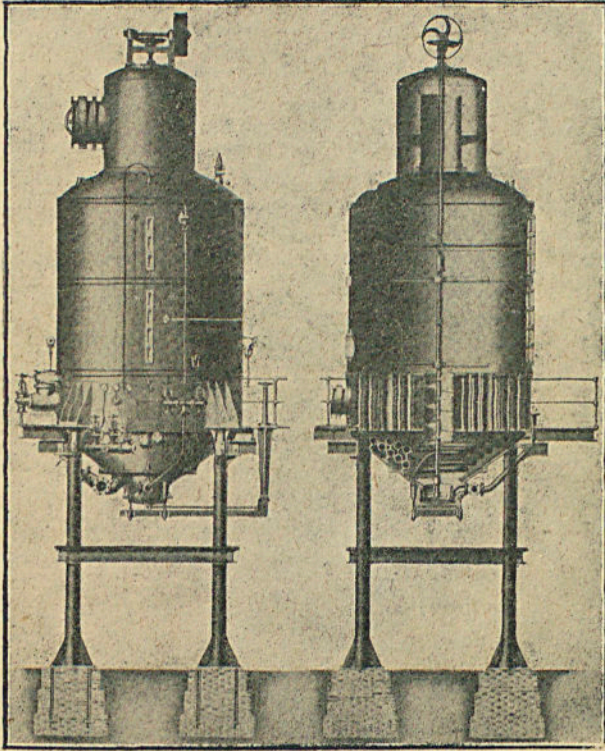


Fig. 137.—Appareil à cuire avec mouvement intérieur chauffage par serpentin et faisceau tubulaire (Élévation, coupe verticale et coupe horizontale au dessus du corps tubulaire). (Cliché Gilain)

2° Nutrition du grain.

3° Serrage de la cuite.

Pendant la première opération il faut, partant d'un sirop à 17 ou 18° Baumé, en concentrer rapidement une certaine quantité jusqu'au *point de cuite* c'est-à-dire jusque vers 43° Baumé, c'est-à-dire jusqu'au moment où se forment des cristaux. La pompe à vide étant en fonctionnement on introduit une certaine quantité de sirop pour couvrir le 1^{er} serpentin ou la 1^{re} série de tubes. On introduit la vapeur quand le vide est d'environ 610 millimètres. L'ébullition commence très rapidement si le sirop a été réchauffé avant introduction dans l'appareil.

Lorsque le sirop marque 43° Baumé, il forme sur la glace de verre où on en dépose quelques gouttes une masse glissant difficilement, il donne lieu entre les doigts à la formation d'un léger filet ; c'est un point que la pratique permet aisément de reconnaître et qui constitue le point de cuité. Il est délicat à observer ; lorsque la puissance d'évaporation de l'appareil est grande il pourrait être rapidement dépassé ; aussi le cuiseur doit-il, pour le saisir avec exactitude procéder à de fréquentes prises d'essai.

C'est alors qu'il y a dans la masse une quantité convenable de grains pour provoquer, quand la totalité du sirop sera introduite une cristallisation suffisante, c'est-à-dire des cristaux suffisamment volumineux dans un liquide mère convenablement épuisé.

Le point délicat de la formation du pied de cuite est donc la production des grains en proportion convenable ; ceux-ci sont, à l'état de cristaux très petits, mais bien nets et bien définis cependant ; quand on juge que le résultat est acquis — ce que l'expérience seule permet de faire avec certitude — il faut arrêter la production de nouveaux grains. On introduit alors une assez forte charge déterminant une désaturation ; il s'agit alors seulement d'éviter, par une élévation de température intempestive, de redissoudre les grains déjà formés.

Cette première phase de l'opération joue un rôle essentiel dans la production de beaux produits et dans l'obtention de hauts rendements quel que soit le système de travail auquel on a recours dans la suite.

On comprend qu'un tel pied de cuite ne puisse se former que dans des sirops très purs et chauds. Quand ces cristaux de bonne

venue sont obtenus il est possible de les faire grossir ensuite avec des sirops sensiblement moins purs que les sirops primitifs dans lesquels ils ont été produits. C'est là un point fort important.

Ainsi pour mener à bien un travail avantageux au point de vue économique, c'est-à-dire en rentrant beaucoup de sirops d'égoût et tout en faisant de beau sucre de 1^{er} jet et diminuant les cuites de seconds, il faut avoir des sirops très bien épurés pour pouvoir faire un bon pied de cuite. Nous voyons une fois de plus comme tout se tient dans l'industrie qui nous occupe et comment le travail de chaque poste a une répercussion sur l'ensemble.

On arrive alors à la deuxième phase, la *nourriture des grains*, formés ou introduits.

L'alimentation régulière est la condition nécessaire pour mener à bien cette opération ; elle peut d'ailleurs s'effectuer soit 1^o sous forme de charges régulièrement espacées, soit 2^o sous forme d'une introduction continue, mais à condition d'introduire en un temps donné une quantité de sirop telle qu'on réalise toujours le degré de saturation convenable.

Le volume de liquide contenu dans l'appareil augmente bien entendu constamment ; le chauffage, d'abord limité au premier serpentín ou à la première série de tubes, doit alors comprendre les serpentíns ou tubes supérieurs. Bien entendu on ne doit introduire la vapeur dans ces chauffages que lorsque les surfaces chauffantes sont entièrement recouvertes.

On continue l'alimentation sous un vide bien réglé aux environs de 560 mm. jusqu'au niveau correspondant à la capacité utile normale de l'appareil.

C'est alors que commence la troisième phase de l'opération. Il faut évaporer lentement pour effectuer la concentration du sirop ; la quantité d'eau à évaporer en un temps donné est naturellement très réduite par rapport à ce qu'elle était dans la période précédente. On augmente le vide et la température baisse ; l'admission de vapeur doit donc être très faible. On continue l'opération jusqu'à un point variable avec les conditions du travail des masses cuites que comporte l'installation de l'usine. A ce moment on casse le vide, c'est-à-dire qu'on laisse rentrer l'air dans l'appareil à cuire et on procède à sa vidange.

L'obtention d'un grain régulier à la cuite est une condition

nécessaire pour arriver à un bon rendement. Ce résultat exige — sans parler ici des qualités propres du sirop à cuire quant à sa composition — qu'on alimente avec des sirops de densité ne dépassant pas 27° ou 28° Baumé, surtout pour la formation du pied de cuite, et que l'on maintienne sans à coup le vide et la température.

Le point le plus important à observer est de ne pas faire naître de grains nouveaux lors des alimentations successives.

Il est particulièrement nécessaire de l'observer si on veut tirer le meilleur parti possible des méthodes actuelles de cristallisation en mouvement. Dans les cristallisoirs ou malaxeurs dans lesquels on règle soigneusement l'abaissement de la température pour que les cristaux se nourrissent lentement il est nécessaire que la cuite soit bien exempte de petits grains au moment de la tombée. Ceux-ci en effet n'auraient pas le temps de grossir et ils échapperaient au turbinage ou bien, s'ils ont atteint un certain degré de développement, ils peuvent être recueillis mais rendent le turbinage difficile.

La nécessité de maintenir le produit contenu dans l'appareil à cuire à un coefficient de sursaturation assez exactement déterminé pour y produire, dans les conditions voulues la précipitation cristalline, oblige à maintenir la masse homogène. L'agitation est donc nécessaire à ce point de vue aussi bien qu'au point de vue du renouvellement de la surface pour la transmission de la chaleur. Il faut non seulement une agitation en chaque point de la masse mais encore un large brassage qui assure l'homogénéité de toute cette masse.

C'est ce qui explique les bons résultats habituellement obtenus avec les appareils à cuire munis d'appareils d'agitation mécanique.

On obtient des grains de sucre particulièrement volumineux en employant le procédé suivant : quand la cuite dans un appareil est terminée on répartit le contenu de l'appareil dans deux appareils vides ; puis on reprend la cuite dans chacun de ces appareils comme s'il s'agissait d'une cuite faite en partant d'un pied de cuite.

Durée de la cuite.

La durée de la cuite varie dans des limites assez étendues suivant la capacité de l'appareil à cuire employé, de la vapeur dont on dispose et surtout suivant le mode de travail adopté.

Mais il ne faut pas perdre de vue que le but de l'appareil à cuire est moins d'évaporer que de provoquer, dans les conditions les plus favorables à l'obtention de cristaux réguliers, le maximum de cristallisation. L'influence du temps est primordiale aussi ne doit-on jamais chercher à réduire la durée des cuites. On peut la considérer comme devant être de 6 à 8 heures.

Aussi l'emploi de vapeurs à basse pression réalisé par les chauffages combinés est-il avantageux non seulement au point de vue de l'économie, mais encore à celui de la bonne conduite des cuites, puisqu'il tend à en prolonger la durée.

Le régime quant à la quantité d'eau évaporée dans l'unité de temps est très différent dans chacune des phases de la cuite.

Le tableau ci-dessous indique très approximativement pour une cuite de 100 hectolitres de sirop les quantités introduites dans chacune des deux premières phases, et la durée et le régime de vaporisation pour chaque phase :

	Vol. de sirop	Durée	Eau évap. par min.
1 ^{re} phase	28	1 h.	34 k.
2 ^e phase	72	6 h.	13 k.
3 ^e phase		1/2 h.	6 k.
	<hr/> 100	<hr/> 7 h. 1/2	

Ces chiffres hâtons-nous de le dire, n'ont rien d'absolu et nous les indiquons seulement pour donner une idée de l'importance relative des trois phases en ce qui concerne les quantités de sirop à introduire, la durée de l'opération et le travail évaporatoire demandé à l'appareil.

Capacité des appareils à cuire.

Pour une usine de 300 tonnes Horsin-Déon indique la nécessité d'avoir deux appareils à cuire : pour le 1^{er} jet un de 300 hectolitres de capacité et pour le 2^e jet un de 100 hectolitres, soit par tonne de betteraves 1 hect. pour 1^{er} jet et 0,3 hect. pour 2^e jet, c'est-à-dire au total 1 hect. 3.

Suivant les conditions de travail auxquelles on a recours ces chiffres peuvent subir une certaine variation qu'il est en général opportun de concevoir dans le sens de l'augmentation. Cependant à mesure que l'usine augmente en capacité de production la capacité relative en cuite, peut diminuer.

La surface de chauffe des appareils à cuire est en moyenne de

1/2 mètre carré par tonne de betteraves travaillées journallement. Ce chiffre descend à 0,4 pour les très grandes usines et s'élève à 0,65 pour les petites usines. En général la surface de chauffe rapportée à la tonne de betterave travaillée est plus élevée pour les appareils à cuire de 1^{er} jet que pour les appareils de second jet.

Pertes de sucre à la cuite.

La destruction du sucre dans la cuite bien conduite est pratiquement insignifiante dans les appareils bien construits. Lorsque la cuite dure trop ou circule mal les pertes s'augmentent.

La perte la plus habituelle de sucre qu'on peut observer à la cuite est due aux fuites des chauffages. Les changements de régime auxquels sont soumis les appareils à cuire rendent ces fuites fréquentes. Un contrôle constant de l'absence de sucre dans les retours doit être établi dans toute sucrerie ; il est d'ailleurs particulièrement facile et la négligence à ce point de vue est impardonnable.

Récupération des pertes de chaleur à la cuite.

Les vapeurs de cuite envoyées directement au condenseur sont une cause de perte importante et leur récupération s'impose dans une installation moderne. Dès 1900 d'ailleurs M. Camuset à Escaudœuvres utilisa les vapeurs de cuite au chauffage partiel du dernier corps de l'appareil d'évaporation.

Dans une usine de 600 tonnes, effectuant le travail de la cuite en 22 heures, on utilise 1800 k. de vapeur à 75°, la chaleur latente de cette vapeur est 554 cal, 3 ce qui fait donc 99.774 calories.

Récupérateur Prache et Bouillon.

Le récupérateur Prache et Bouillon est une caisse d'évaporation à tubes inclinés (fig. 138) qui reçoit les demi-sirops sortant de l'appareil à évaporer et est chauffée avec la vapeur qui sort des appareils à cuire, il est donc installé entre les appareils à cuire et le condenseur.

L'emploi du récupérateur est particulièrement intéressant dans les usines dont l'appareil d'évaporation est insuffisant. Il est de plus, surtout avantageux, quand la cuite est faite avec de la vapeur directe. L'économie, notable encore, qu'apporte son emploi, est naturellement moindre, quand les cuites sont chauffées avec la vapeur de jus.

Cuite continue.

Signalons enfin parmi les procédés présentant une réelle originalité celui de l'évaporation et de la cristallisation en continu des jus sucrés, par analogue avec ce qui se produit dans des industries chimiques. Zuew à la station expérimentale de Kharkow

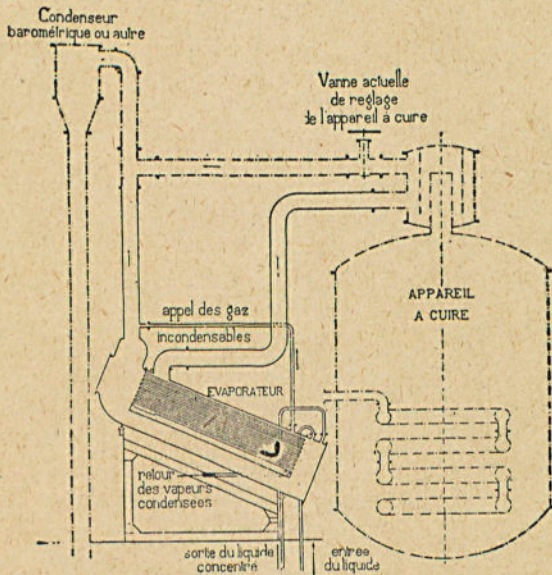


Fig. 138. Installation d'un évaporateur Prache et Bouillon à circulation thermique pour récupérer la vapeur perdue d'un appareil à cuire.

a construit un évaporateur cylindrique à fond conique de 50 litres de capacité communiquant avec un cristalliseur par une large tuyauterie. Le jus brut est introduit d'une manière continue dans l'évaporateur jusqu'à ce qu'il soit rempli de sirop cristallisable et formation de masse cuite soutirée dans une essoreuse. On introduit du jus frais dans l'appareil ; en raison de sa faible densité il reste à la surface. L'auteur a pu obtenir ainsi 250 kilos de masse cuite en un jour et demi et considère comme établi qu'on puisse fabriquer du sucre à partir du sirop dense par cristallisation continue en produisant des cristaux de toutes les grosseurs voulues.

CHAPITRE III

SÉPARATION DU SUCRE DE L'EAU MÈRE

Généralités.

*Les cristaux
sont
cuits*

Au sortir de la cuite la masse cuite est maintenue dans un malaxeur où les cristaux continuent à se nourrir pendant que la matière se refroidit. L'agitation est nécessaire pour éviter la décanation. Ce malaxage et l'enrichissement des cristaux qu'il produit est surtout important dans le traitement des masses-cuites de second ou de troisième jet.

C'est à propos du travail de ces masses-cuites que nous décrivons les malaxeurs.

La séparation des cristaux dans l'eau-mère s'effectue le plus généralement en utilisant la force centrifuge dans des appareils dits turbines ou centrifuges.

Les turbines sont en principe constituées par un panier en tôle perforée garni d'une toile de cuivre qui retient les cristaux présentant une dimension suffisante.

Le panier tourne autour d'un axe et est maintenu dans un tambour fixe, généralement en fonte.

L'eau-mère entraînant avec elle les petits cristaux (grains fins) s'écoule à travers la toile perforée et est projetée contre la paroi du tambour d'où elle s'écoule à l'aide d'une ouverture ménagée à cet effet.

Les turbines nécessitent une grande dépense de force mécanique. Elles ont été dans ces dernières années l'objet d'importants perfectionnements aussi bien au point de vue de l'économie de force qu'au point de vue de la facilité de leur manœuvre. On a

rendu automatique leur vidange qui autrefois, entièrement faite à la main, constituait un travail extrêmement pénible pour les ouvriers, aussi bien du fait de la dépense de force musculaire qu'il

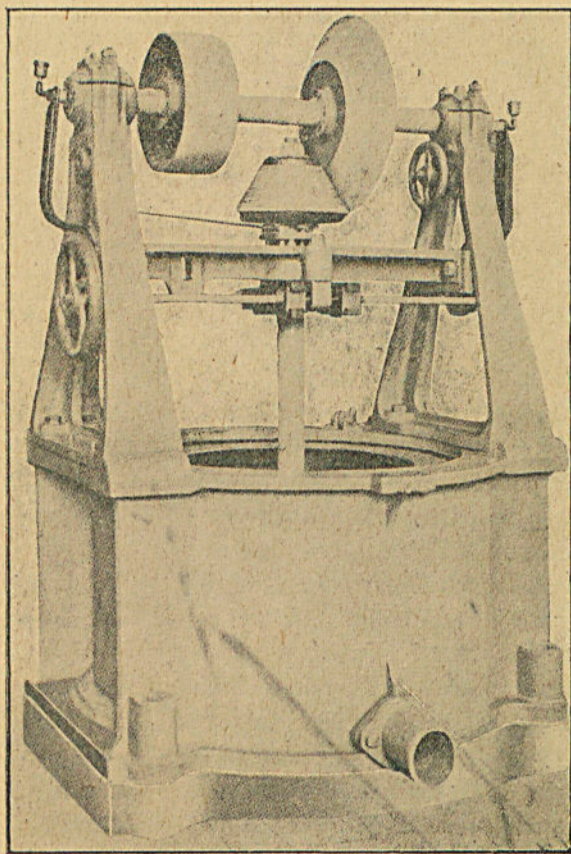


Fig. 139. — Turbine à cône de friction à commande par courroies.

nécessitait que du fait de la température élevée que les hommes avaient à supporter.

Actuellement l'emploi de procédés autres que celui qui met en œuvre la force centrifuge n'est point généralisé, malgré l'application qui en a été faite surtout en raffinerie et en sucrerie dans des établissements d'ailleurs particulièrement importants. (Lavage des masses cuites par les *nutsches* Steffen).

Il faut d'ailleurs noter que, bien avant le procédé Steffen, on employait le simple égouttage de la masse cuite dans des caisses dont le fond était muni d'une tôle perforée. Telles sont les caisses Schutzenbach qui ont été remplacées par les turbines. Les *nutsches* Steffen réalisent sur les caisses Schutzenbach le progrès de comporter un double fond avec action du vide sous une toile métallique, et de se présenter sous forme de wagons qui circulent aisément de l'appareil à cuire ou du malaxeur où on les emplit jusqu'au lieu où on les bascule pour les vider de leur contenu, après égouttage et clairçage.

Centrifuges ou Turbines.

Le type ancien de turbine dont on trouve encore de nombreux exemplaires en fonctionnement est connu sous le nom de *turbine Cail* à axe fixe et à commande supérieure ; elle a été, suivant Vivien imaginée par Seyrig et appliquée à la sucrerie par Derosne et Cail.

Elle est constituée par un tambour en fonte fixé au sol à l'aide de quatre pattes dans lesquelles entrent des boulons de scellement. Ce tambour supporte une arcade également en fonte à laquelle sont fixés deux montants qui portent les paliers dans lesquels tourne un axe horizontal. Sur cet axe est fixé la poulie par laquelle est donné le mouvement à l'aide d'une courroie ; la poulie porte un cône de friction qui s'appuie sur un autre cône composé de rondelles de cuir serrées très fortement les unes contre les autres et qui termine à sa partie supérieure l'axe vertical portant le *panier* de la turbine. Cet axe repose à sa partie inférieure sur une crapaudine ménagée dans le panier de fonte.

Le nombre de tours que doit faire la turbine est en principe d'autant plus petit que le diamètre de la turbine est plus grand. Dans les turbines du type ordinaire ci-dessus, ayant un panier de 785 mm, on peut faire 1.100 tours par minute ; avec un panier de 942 mm pour une même épaisseur de tôle la turbine ne doit pas dépasser 950 tours.

La répartition uniforme de la charge sur la périphérie du panier est une condition nécessaire pour éviter des trépidations très désagréables et même la rupture de la turbine, accident très grave toujours.

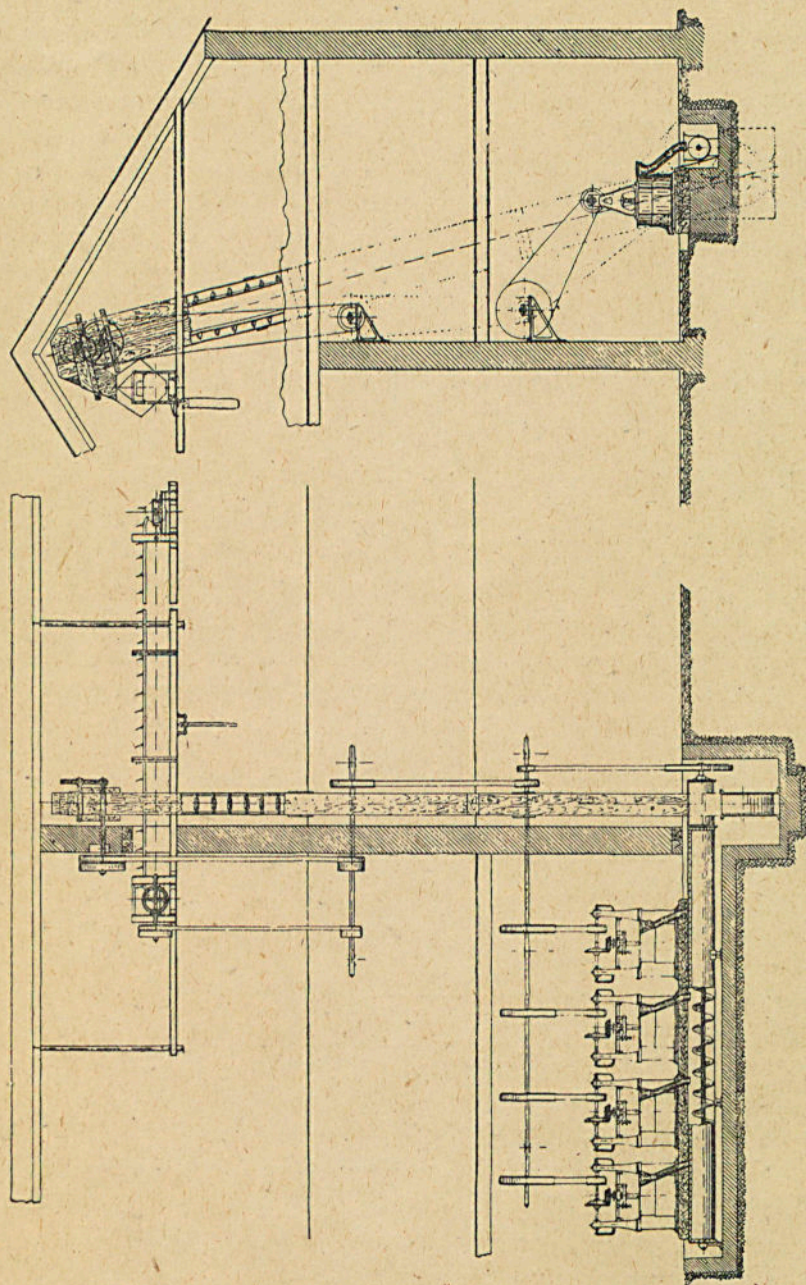


Fig. 140. — Commande des turbines par courroies et vue d'ensemble de l'installation montrant l'élevation du sucre au magasin.

Dans une turbine de 785 mm. de diamètre la charge normale est de 75 kilos de masse cuite. Elle ne doit pas être dépassée.

L'effort au démarrage de la turbine est toujours très considérable ; la mise en route doit être progressive, ce qu'on obtient aisément à l'aide du cône de friction.

La séparation des cristaux de leur égout s'obtient rapidement ; mais elle n'est pas complète. Il est nécessaire de déplacer le liquide qui se trouve adhérer aux cristaux par un autre liquide. C'est l'opération du clairçage ; cette opération se pratique dans des conditions différentes suivant le genre de produit qu'on veut obtenir. Le turbinage proprement dit est toujours assez rapide et demande, pour une charge normale de la turbine, 2 minutes environ ; le clairçage est sensiblement plus long.

Principes du turbinage.

La vitesse d'un point de la périphérie du panier de la turbine est donnée par la formule

$$v = \frac{2\pi r n}{60}$$

en appelant r le rayon et n le nombre de tours par minute.

La force centrifuge ou pression exercée sur la paroi est égale à

$$\frac{P v^2}{g r}$$

Il convient surtout de retenir que la force centrifuge, c'est-à-dire la force qui agit sur le sucre et en évacue l'eau-mère, varie proportionnellement au rayon de la turbine, et proportionnellement au carré de la vitesse.

On exprime habituellement la vitesse en nombre de tours par minute.

La pression exercée sur les parois du tambour de la turbine est donnée par la formule

$$P = \frac{M v^2}{g R}$$

dans laquelle :

M est le poids en kilogs de la masse à turbiner ;

V est la vitesse par seconde en mètres d'un point de la circonférence du tambour ;

R le rayon du tambour ;

g l'intensité de la pesanteur.

Dans une turbine de 1 m de diamètre faisant 1.000 tours chaque point parcourt 3.140 mètres par minutes soit 52 m, 3 par seconde $v^2 = 2735 g = 9, 80$ d'où $P = 83 k, 66$.

Si on donne au panier une hauteur de 40 centimètres la surface

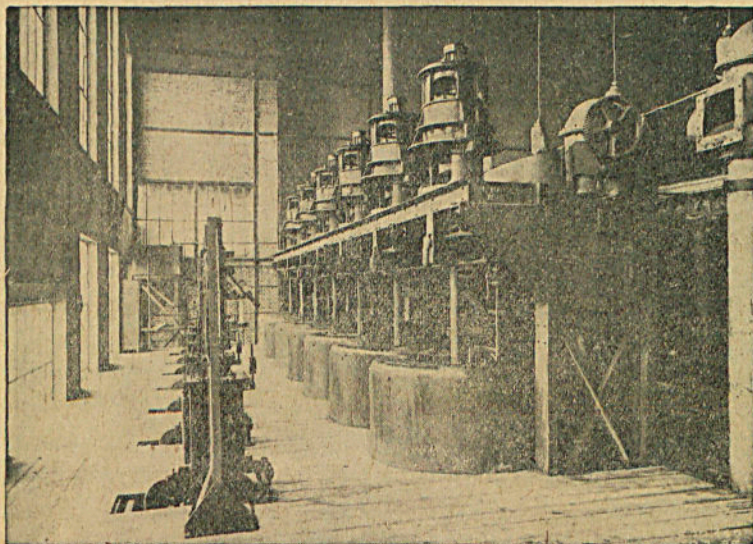


Fig. 141. — Centrifuge électrique. (Cliché Fives-Lille).

du tambour étant de 1 m², 256 on aura par centimètre carré une pression de

$$\frac{83,66}{12,56} = 6 k 6$$

Les différents systèmes de centrifuges

C'est le mode de suspension de l'arbre portant le tambour qui différencie les modèles.

1^o *Centrifuges à commande supérieure et axe fixe*: La partie inférieure de l'arbre repose sur une crapaudine et la partie supérieure est maintenue dans un collet à douille qui fait corps avec le bâti. C'est le type original de la turbine de Cail (fig. 139).

Le mouvement est donné par la partie supérieure par cône ou courroie. Le système Wauquier appartient à ce type; il est

caractérisé par une douille composée d'un collet taraudé maintenu fixe par un frein et d'une bague conique dont l'extrémité filetée est vissée dans le collet fixe. Dès que l'usure se produit on fait tourner légèrement la bague conique au moyen d'une clef ; cette bague descend sur l'arbre et présente ainsi une nouvelle surface à la pression.

D'importantes vibrations se produisent quand l'appareil fonctionne, surtout lorsqu'il n'est pas parfaitement équilibré. De solides fondations de maçonnerie sont nécessaires.

2° *Centrifuges à commande supérieure et à axe libre.* — Le type de ce genre d'appareils est la turbine Weston. L'arbre n'est soutenu que par l'extrémité supérieure qui tourne dans un collet à douille dans lequel de l'huile est envoyée sous pression à 100 kilos, à l'aide d'une pompe. L'arbre se trouve ainsi soulevé. Le lubrifiant s'écoule dans une gouttière qui le ramène à la pompe.

La commande est exactement placée au centre d'oscillation. La maison Pott de Mitherwell près Glasgow a adapté le roulement à billes à ces appareils. C'est surtout à la crapaudine que l'emploi des roulements à billes constitue un grand progrès permettant une économie de puissance mécanique que les constructeurs estiment à 20 % avec une économie d'huile fort importante.

La vidange se fait en soulevant le cône central qui est maintenu levé par un ressort ; avec la pelle on fait tomber le sucre dans un trou laissé libre.

3° *Centrifuge à commande inférieure à axe fixe.* — On les désigne parfois sous le nom de système anglais. Dans ce système l'extrémité supérieure de l'axe est au centre même du cône intérieur du tambour. Le centre de gravité du système se trouve entre deux points fixe ce qui supprime les oscillations dangereuses.

4° *Centrifuge à commande inférieure à axe libre.* — Système Fesca. La crapaudine est constituée par une partie mobile reposant sur une partie fixe par une surface sphérique. Ce dispositif permet à l'axe de se déplacer dans un sens ou dans l'autre, la partie mobile de la crapaudine suivant tous ses mouvements.

L'axe porte une poulie creuse qui recouvre la crapaudine.

Pour éviter les mouvements de précession et de mutation qui se produiraient du fait de l'inégalité de répartition de la masse cuite dans le tambour, la turbine Fesca est munie d'un régulateur particulier. Celui-ci est constitué par une boîte cylindrique placée verticalement au milieu du tambour qui contient quatre anneaux en bronze placés les uns sur les autres. La force centrifuge

entraîne les anneaux du côté opposé à celui où le panier tend à s'incliner. L'équilibre se rétablit automatiquement.

La turbine Fesca est à vidange par en dessous. Le fond du tambour comporte trois ouvertures qui pendant le fonctionnement sont fermées par un tiroir sur lequel l'ouvrier agit à l'aide d'un volant.

Dans les turbines à commande par en-dessous le panier est entièrement dégagé par en dessus et est ainsi abordable sur toute la circonférence.

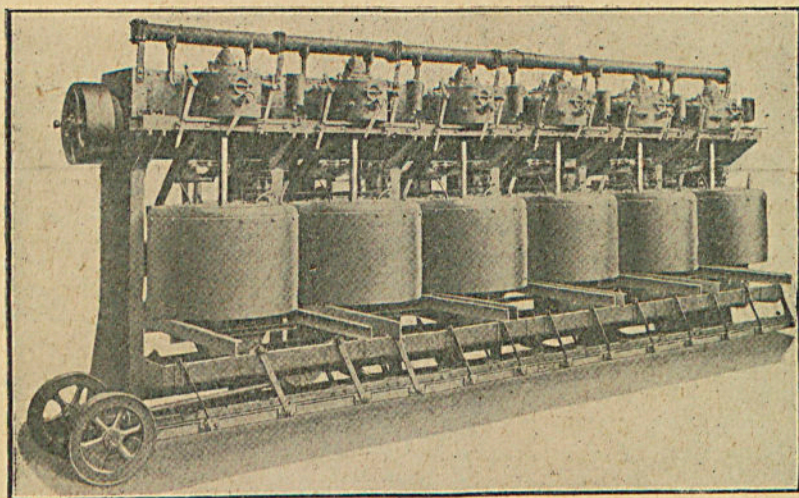


Fig. 142. — Vue d'ensemble de turbines hydrauliques avec transporteur de sucre à secousses.

On peut appliquer divers modes de commande à chacun des types ci-dessous décrits.

Les turbines à axe fixe ont un rendement dynamique supérieur à celui des turbines à axe libre.

Les turbines à grand diamètre, présentent sur les turbines à petit diamètre une incontestable supériorité au point de vue de l'économie de main-d'œuvre. Cette économie est assez grande pour compenser l'amortissement des frais d'achat et d'installation plus grands avec les grandes turbines.

C'est la nécessité de ne pas dépasser une certaine vitesse périphérique qui limite en pratique les diamètres qu'il est possible de donner aux turbines. On peut augmenter cette vitesse par l'emploi de métaux pouvant supporter un plus grand effort. La limite est d'environ 3, 5 kilos par millimètre carré, ce qui correspond à une vitesse périphérique de 65 mètres par seconde. Si on se limite en pratique à une vitesse de 50 mètres les vitesses angulaires suivantes peuvent être réalisées pour les dimensions ci-dessous des turbines avec les charges indiquées :

diamètre	nombre de tours par minute
0 75	1270
1,00	955
1.25	763

Les divers modes de commande des turbines.

Nous rappelons seulement pour mémoire la disposition archaïque qui consistait à actionner chaque essoreuse par un moteur à vapeur ; puis la commande par courroie, actionnant chaque centrifuge, en partant d'un arbre commun a été employé. Cette disposition a fait place à la commande hydraulique ou à la commande électrique dans des installations modernes.

Cette commande est naturellement individuelle : chaque turbine a son moteur.

Mais il existe encore un grand nombre de turbines actionnées par un arbre commun portant des poulies transmettant par courroie le mouvement à chacune des turbines de l'installation (fig. 140).

D'ailleurs des ingénieurs et des techniciens qualifiés font des réserves en ce qui concerne l'intérêt que présente la commande individuelle des centrifuges par moteur électrique à laquelle ils préfèrent la commande par courroie de chaque appareil. On rencontre souvent dans les installations de centrifuges commandées directement par moteur électrique une proportion importante d'appareils immobilisés.

Les turbines à commande hydraulique semblent donner lieu à moins de critiques.

Cependant il ne convient pas de considérer comme preuve d'infériorité définitive du système les critiques ainsi formulées surtout contre les installations de centrifuges à commande électrique séparée. Il est possible qu'elles s'appliquent à des installations insuffisamment étudiées en ce qui concerne la robustesse des moteurs.

Il est incontestable qu'il existe des cas assez nombreux où les turbines électriques sont souvent immobilisées par les réparations. Mais cela n'infirme en rien la valeur du procédé, cela montre simplement que pour donner toute satisfaction les appareils électriques doivent être particulièrement bien construits et robustes.

Commande électrique des turbines.

La commande électrique des turbines se fait de manière différente suivant le mode de suspension de l'appareil.

Dans le cas des turbines à axe fixe l'électro-moteur est calé sur l'arbre même qui soutient le panier (fig. 141).

Le moteur au démarrage devra entraîner son induit et le panier plus la charge. Il en résulte un très fort couple de démarrage. Avec ce dispositif si on a du courant continu on emploie

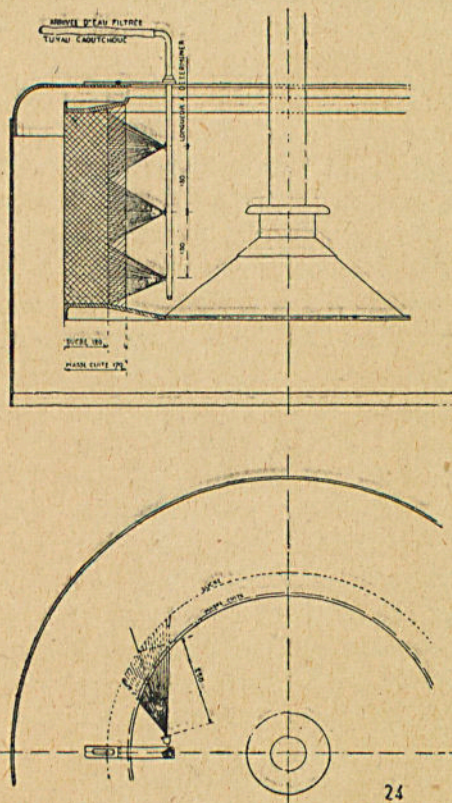


Fig. 143. — Clairçage à l'eau pulvérisée. (Cliché Kestner).

un moteur à excitation shunt ou compound. L'excitation en série ne peut être employée, car elle produirait des embalmements dangereux pouvant entraîner la rupture du métal.

On peut aussi employer les moteurs à courant triphasé démarrant facilement par rhéostat en série avec l'enroulement du rotor.

Enfin on peut employer des moteurs à dispositifs de démar-

rage sans résistance extérieure avec des montages assez compliqués applicables seulement à de grandes installations et qui comportent plusieurs lignes d'alimentation avec des fréquences différentes sur lesquelles le moteur est successivement branché. Le passage d'une fréquence à l'autre s'opère automatiquement grâce à un dispositif centrifuge qu'actionne la turbine elle-même.

On emploie des courants à 21,35 et 50 périodes. On démarre le moteur avec la plus faible fréquence, puis on utilise l'intermédiaire et enfin la plus grande pour arriver à la vitesse normale.

L'utilisation du réseau à trois fréquences permet de pratiquer le freinage électrique, afin de récupérer l'énergie cinétique de la masse en mouvement. La turbine devant être arrêtée est à 50 périodes ; on relie son moteur au réseau à 35 périodes, puis ensuite au réseau à 21 périodes. On récupère ainsi 30 % de l'énergie dépensée.

Avec démarrage il y a dissipation d'une grande quantité de chaleur qui traverse le moteur et que celui-ci doit pouvoir rayonner.

Dans le cas de turbines à axe libre le moteur peut être indépendant de l'axe et entraîner la turbine par un système de friction.

On a construit des turbines à commande électrique dans lesquelles le moteur était placé immédiatement au dessous de l'appareil de suspension et ainsi suivait les mouvements de l'axe. On emploie de préférence maintenant un dispositif dans lequel l'électromoteur est placé au dessus de l'appareil de suspension, ce qui supprime son oscillation. Le moteur indépendant peut ainsi avoir des dimensions d'entrefer très réduites.

La chaleur dégagée au démarrage est absorbée par le dispositif de friction.

On emploie avec ce système des moteurs à courant continu, ou des moteurs à courant alternatif avec résistances sur le rotor. Le démarrage est facile avec les moteurs à courant alternatif ; le régime est rapidement atteint par l'emploi du dispositif centrifuge qui fonctionne très peu de temps après la fermeture de l'interrupteur ; le moteur a peu d'échauffement à supporter.

La turbine Watson à commande électrique présente les particularités suivantes :

L'induit du moteur électrique est attaché à un manchon fou sur l'arbre de la turbine. La partie inférieure du manchon se ter-

mine par un disque creux portant quatre cavités cylindriques dans lesquelles sont engagés quatre blocs de friction à tige couissante dont les axes sont suivant des rayons. Sous l'action du courant électrique le manchon tourne et, sous l'action de la force centrifuge quand la vitesse prend une certaine valeur, les blocs s'appliquent et viennent frotter sur un rebord que porte l'arbre creux rotatif de la turbine.

Commande hydraulique des turbines

Les turbines actionnées par moteurs hydrauliques sont du type Weston, avec substitution à la poulie d'un moteur hydrau-

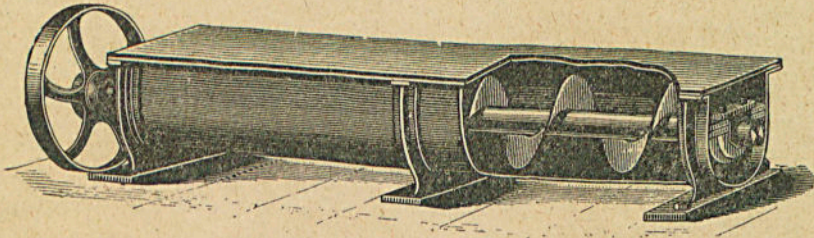


Fig. 144. — Transporteur à vis.

lique qui forme un tout indépendant de la turbine (fig. 142). Le moteur hydraulique qui est une roue de Pelton, est un appareil de construction robuste, de fonctionnement simple ne présentant aucune cause d'irrégularité dans son fonctionnement. Il fonctionne avec de l'eau sous pression à 10 kilos environ refoulée par une motopompe dans une bouteille de sûreté munie d'un manomètre et d'un régulateur qui permet d'agir sur le moteur. L'eau arrive sur la roue Pelton par deux valves, l'une qui sert à la mise en marche de la turbine, l'autre de plus faible section, qui sert à maintenir la vitesse. La première se ferme automatiquement quand la vitesse normale est atteinte.

Il existe divers modèles de ces moteurs dans le détail desquels nous ne pouvons entrer.

Comme ordre de grandeur de dépense d'énergie des turbines

à commande hydraulique nous indiquerons que pour une usine travaillant 1.000 tonnes de betteraves et possédant 15 turbines l'eau sous pression nécessaire à la marche est fournie par une pompe centrifuge qui consomme 150 kilowatts.

Enfin un nouveau mode de mise en marche individuelle des centrifuges a été réalisé par la maison Breitfeld Danek qui actionne des centrifuges suspendues par des turbines à vapeur individuelles. Une telle installation a été réalisée à la fabrique de Dobrovice en 1922. Les constructeurs font valoir à l'actif de leur innovation la grande élasticité de la turbine qui peut faire varier à volonté de 30 % le nombre de tours et la réduction de la durée de mise en marche, d'où augmentation du débit des centrifuges. La pleine vitesse serait atteinte en 1 minute 40 secondes au lieu de 2 à 3 minutes.

L'installation de telles turbines à vapeur se recommande, suivant les constructeurs, là où la force motrice est insuffisante pour satisfaire à une augmentation du nombre des centrifuges qu'on veut réaliser.

Le turbinage continu a longtemps été considéré comme un progrès industriel de grande importance. L'emploi des turbines *Watson* ou autres analogues a permis de réaliser des économies de main d'œuvre si importantes que le turbinage continu a perdu de son intérêt pratique et que beaucoup de fabriques modernes n'envisagent nullement le changement des turbines discontinues dont le fonctionnement leur donne toute satisfaction.

Parmi les divers modèles de turbines continues qui ont été produits il faut citer la turbine *Mastaing*, la turbine *Possoz* et *Ragot* et la turbine de grand modèle *Sczenlowski* et *Pionthowski*.

Clairçage.

La force centrifuge seule est incapable de débarrasser entièrement les cristaux de sucre de leur eau-mère. Celle-ci en effet y adhère fortement et les dernières parties doivent être déplacées par un autre liquide. Cette opération dite *clairçage* ne s'effectue que lorsqu'on veut obtenir des sucres blancs. Bien entendu il est impossible d'éliminer complètement l'eau-mère par une solution

plus pure sans dissoudre une certaine quantité des grains. Le clairçage entraîne donc une diminution du rendement.

Le clairçage le plus courant est le *clairçage à la vapeur* qu'on introduit dans la turbine à l'aide d'un tuyau vertical perforé. L'eau condensée dissout du sucre et forme le liquide plus pur qui déplace l'eau-mère.

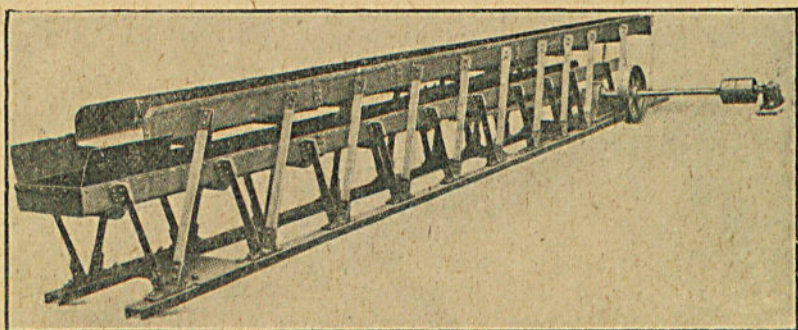


Fig. 145. — Transporteur à secousses Kreiss.

Le *clairçage à l'eau* lancée sous pression et pulvérisée c'est-à-dire sous forme de très fines gouttelettes permet un clairçage plus économique. Il est important d'employer des pulvérisateurs agissant par l'air comprimé à 5 atmosphères (fig. 143).

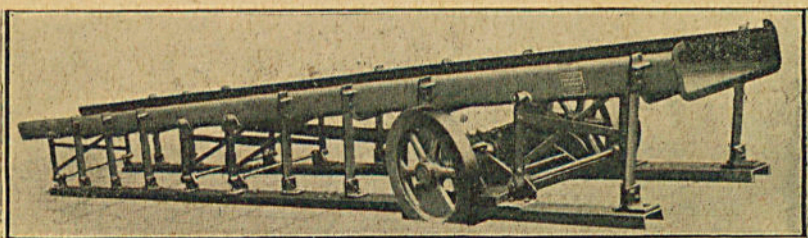


Fig. 146. — Transporteur à secousses incliné.

Les deux modes de clairçage à la vapeur et à l'eau peuvent être employés successivement.

Pour économiser la perte de sucre par dissolution par l'eau condensée de la vapeur on emploie parfois un dispositif parti-

culier qui consiste à faire arriver la vapeur extérieurement au panier ; la turbine est parfois aussi munie d'un couvercle pour éviter la déperdition de la chaleur, c'est-à-dire, la diminution de

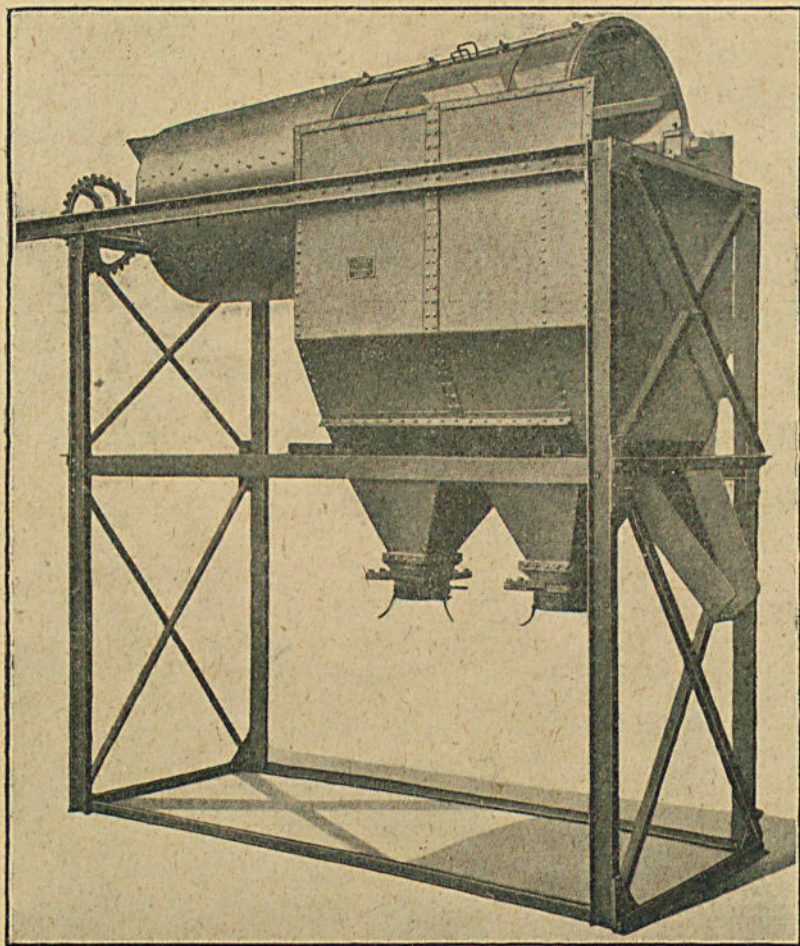


Fig. 147. — Sècheur à sucre.

la condensation et par conséquent la dissolution d'une moindre quantité de sucre en même temps qu'une économie de vapeur.

Cependant ce mode d'emploi de la vapeur ne suffit pas pour un clairçage parfait et il est nécessaire pour finir de claircer à

l'intérieur ; mais ce dernier clairçage, très facilité, peut être fait avec très peu de vapeur. On combine même alors l'emploi de la

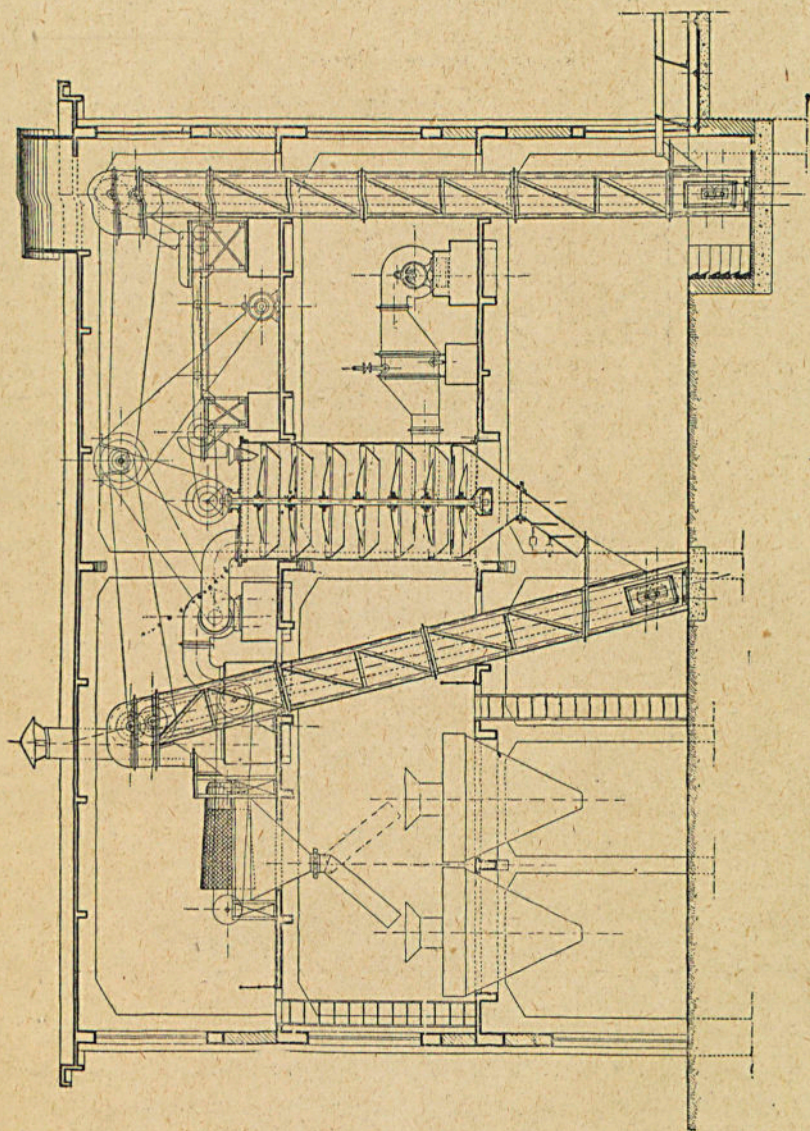


Fig. 148. — Installation pour séchage et mélange du sucre. Séchoir à vapeur vertical système Vernoi.

vapeur et de l'air, celui-ci servant à diviser la vapeur. On emploie pour réaliser l'emploi d'un tel mélange un injecteur tel que l'in-

jecteur Kœrting. Cet appareil est formé par un vase cylindrique sur lequel on monte un souffleur d'air et un souffleur de vapeur qui utilise la vapeur d'échappement des machines.

Séparation des Egouts.

On sépare les égouts selon leur pureté en égouts *riches* et en

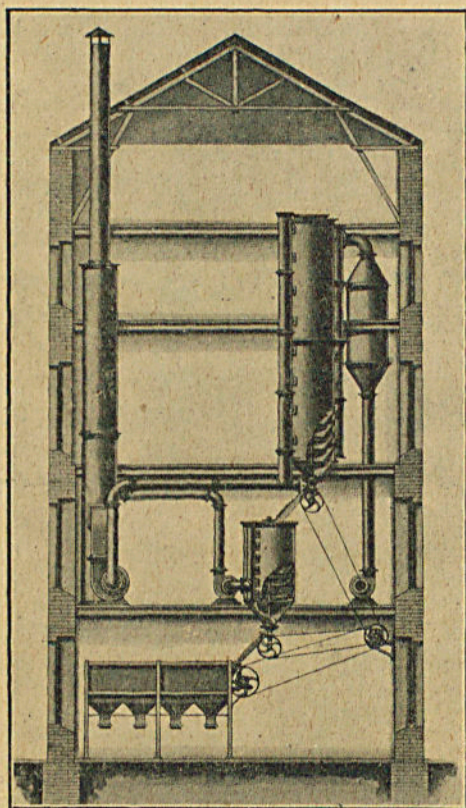


Fig. 149. — Installation de séchage de tamisage et d'ensachage du sucre.

égouts *pauvres*. On pratique parfois un classement en 3 catégories comprenant des égouts *moyens*. En principe les égouts riches vont à la cuite de 1^{er} jet avec le sirop de l'appareil d'évaporation ; les égouts riches peuvent aussi servir au clairçage d'une nouvelle partie de masse cuite de manière à réaliser un clairçage méthodique

Les égouts pauvres vont à la cuite de 2^e jet ou sont décolorés sur le noir pour rentrer dans la cuite de 1^{er} jet.

Azurage du sucre. — Cette pratique a pour but de masquer la coloration jaune des impuretés du sucre en y introduisant de faibles traces d'une matière bleue c'est-à-dire de la couleur complémentaire de la précédente.

L'azurage du sucre ne présente aucun inconvénient hygiénique.

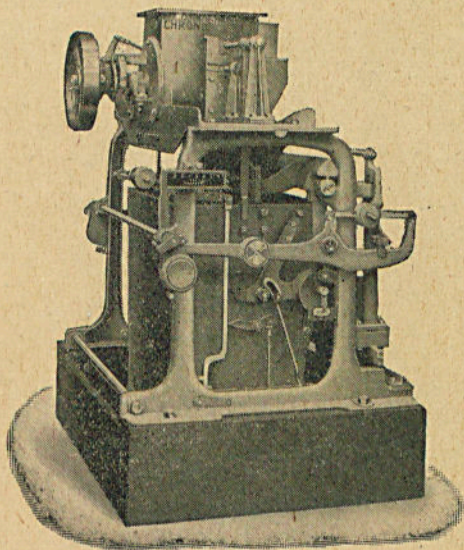


Fig. 150. — Balance à sucre brut.

Les matières colorantes bleues qu'il est d'usage d'employer dans le but de masquer une faible coloration jaune ne présentent en effet aucun danger, elles sont d'ailleurs strictement limitées en France aux suivantes : Bleu de Lyon, Bleu Couplier, qui sont des matières colorantes solubles et le bleu d'outremer (minéral) et le bleu d'indanthrène (dérivé du goudron de houille) qui sont des pigments ou matières colorantes insolubles.

C'est surtout le bleu d'outremer qui est employé. Mais si l'usage des matières colorantes minérales ou organiques est parfaitement inoffensif en raison de leur absence de toxicité, tout au moins aux doses où elles sont utilisées, c'est le principe même de l'azurage qui est condamnable, malgré l'ancienneté de son emploi, puisqu'il sert en somme à masquer une coloration. D'ailleurs aux Etats-Unis, l'azurage du sucre est interdit.

Transport du sucre à la sortie des turbines.

Des transporteurs mécaniques divers assurent le transport du sucre des turbines au magasin à sucre. : vagonnets roulant

sur rail conduisant le sucre au-dessus d'une trémie où on bascule le sucre; transporteur horizontal à hélice (fig. 144).

Cet appareil présente parfois l'inconvénient de briser les cristaux. Il aboutit habituellement à un élévateur à godets qui trans-

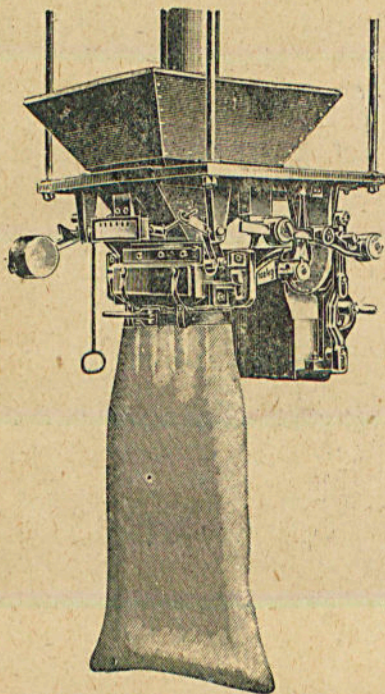


Fig. 151. — Bascule à sucre fixe, à ensachage automatique (Etablissements Maguin).

porte le sucre verticalement à l'étage au dessus où se trouve le magasin.

Pour y remédier on a recours au transporteur Kreiss (fig. 145), qui a été l'objet d'assez nombreuses applications. C'est un transporteur à secousses. Une nochère en tôle dans laquelle circule le sucre est supportée par des ressorts formés de lames de bois de frêne très flexibles. Le fond de la nochère est relié par une bielle à un excentrique, et ainsi reçoit un mouvement de va et vient qui se traduit par des secousses qui ont pour effet de faire avancer le sucre sur la nochère.

Le Kreiss peut être incliné et monter le sucre, mais on ne peut dépasser une inclinaison de 30° (fig. 146).

Le transport du sucre avec cet appareil, exige pour qu'il s'effectue régulièrement, un sucre bien sec dont les cristaux ne

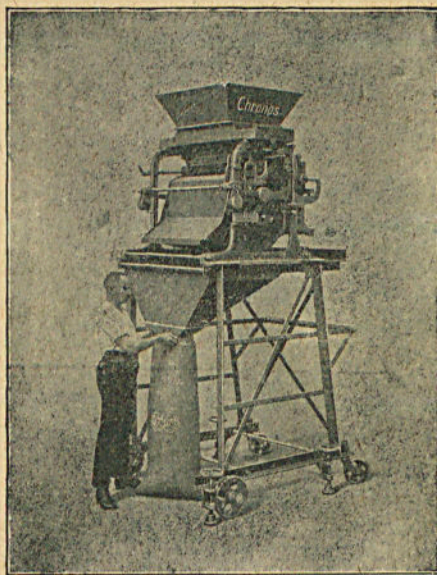


Fig. 152. — Balance mobile pour l'ensachage du sucre fini.

s'agglomèrent pas en masses. C'est donc au total un avantage à l'actif du système puisqu'il oblige à turbiner correctement.

Traitement du sucre sorti des turbines. Emmagasiner.

A la sortie des turbines le sucre constitue une masse qui doit être d'abord refroidie, puis rendue homogène avant d'être emmagasinée.

Le *tamisage* du sucre s'effectue à l'aide de tamis à tambour ou de crible à secousse. Bien entendu le tamisage du sucre pur est facile tandis que le tamisage du sucre qui titre 88 seulement, adhère au tamis et passe difficilement. Il faut employer des tamis qui comportent un système de brosses qui maintiennent propres les fils constituant le tamis.

Le tamisage a surtout pour but d'éliminer les *grugeons* formés de gros cristaux ou de macles ou de croûtes formées par la dessiccation au contact des parois chaudes de fragments de masse cuite.

Le tamisage est nécessaire non seulement pour éliminer les croûtons et les grugeons mais encore pour rendre le sucre homogène, conditions que doit obligatoirement remplir le sucre formant un même lot pour répondre aux règlements du commerce des sucres.

Nous avons indiqué plus haut que la température élevée favorisait l'altération des sucres ; on doit donc éviter son emmagasinage ou son ensachage à chaud ; on y arrive en formant des petits tas sur le sol avant de constituer des masses importantes.

On doit enfin sécher le sucre blanc. On l'ensache ensuite à l'aide de bascules automatiques dans des sacs de 100 kilogs (fig. 150, 151, 152).

CHAPITRE IV

RENTRÉES D'ÉGOUTS ET REFONTE

Généralités.

Horsin-Déon (1) résume ainsi les procédés divers permettant d'extraire le sucre d'un sirop :

1^o Le cuire au filet, le couler dans un malaxeur et le refroidir (*Kestner, Lagrange*).

2^o Le cuire au filet, le couler dans un malaxeur et l'amorcer (*Stammer, Bock*).

3^o Le cuire partiellement pour former une amorce et le couler dans un malaxeur dans lequel on fait les rentrées (*Abraham*) (*Rayemackers, 1^{er} procédé*).

4^o Faire la cuite complètement dans la chaudière avec ses rentrées et couler dans un malaxeur qui ne sert que de refroidisseur (*Manoury, Karlik, Rayemackers 2^e procédé*).

5^o Par un procédé mixte, le cuire en partie dans la chaudière et en partie dans le malaxeur (*Hucke et Lauke*).

6^o Le cuire dans une chaudière à mouvement intérieur servant en même temps de malaxeur (*Reboux, Freitag, etc.*).

Avec tous ces procédés, il est possible d'obtenir sucre et mélasse à condition d'effectuer judicieusement les rentrées, en tenant compte, aussi exactement que possible des données relatives à la cristallisation, et en particulier, des coefficients de sursaturation.

(1) HORSIN DÉON. Fabrication du sucre, Paris 1912.

Rentrée des Égouts dans le travail.

Le travail le plus simple qu'on puisse envisager est celui qui consiste à introduire exclusivement dans l'appareil à cuire les sirops sortant de l'évaporation après sulfitation et réchauffage, si on pratique ces opérations.

On obtient ainsi à la sortie de l'appareil à cuire une masse cuite de *premier jet*.

On en sépare un égout qui, cuit à son tour, donne lieu à une masse cuite de *second jet*.

Mais il est apparu depuis longtemps comme particulièrement avantageux de diminuer la quantité d'égouts à cuire en second jet en effectuant des rentrées d'égout à divers postes de la fabrication.

Tout d'abord il faut noter que les égouts ont des puretés très différentes selon les conditions du travail aussi bien de la cuite que du turbinage.

La rentrée des égouts riches présente un avantage évident puisque grâce à cette pratique, il est possible de provoquer aisément dans l'appareil à cuire la cristallisation d'une partie du sucre contenu dans ces égouts.

Mais la rentrée des égouts pauvres présente aussi un avantage tout particulier; c'est qu'en effet les impuretés contenues dans ces égouts fluidifient la masse cuite dans laquelle on les introduit. Ainsi grâce à ces impuretés il est possible de pousser plus loin le *serrage* de la masse cuite, c'est-à-dire d'éliminer de l'eau sans provoquer la prise en masse dans l'appareil à cuire. Lorsqu'on introduit ensuite la masse convenablement concentrée dans le cristalliseur les cristaux se nourrissent par refroidissement et laissent une eau-mère épuisée.

On peut effectuer la rentrée des égouts dans un poste du travail précédent la cuite, de façon à leur faire subir une épuration nouvelle; il en résulte naturellement que le sucre qu'ils contiennent est affecté d'une nouvelle perte inhérente aux diverses opérations auxquelles on le soumet.

On a appliqué la rentrée des égouts à la diffusion (Procédé Manoury). Mais cette manière de faire n'a pas prévalu.

Un grand nombre de fabriques font rentrer les égouts à la

deuxième carbonatation. (A la première carbonatation on augmenterait sans nécessité la perte par les écumes).

On peut dire que les avantages de telle ou telle manière d'opérer dépendent de la nature même des sirops. S'ils sont susceptibles de profiter de l'épuration il y a évidemment intérêt à les rentrer à la 2^e carbonatation ; c'est d'ailleurs en tenant compte de cette considération qu'un certain nombre d'usines varient leur manière de faire en ce qui concerne cette partie du travail suivant l'époque de la fabrication : on diminue la quantité des égouts rentrés directement aux cuites à mesure que la campagne avance et même on la supprime à la fin.

CRISTALLISATION EN MOUVEMENT

Autrefois les égouts des dernières cuites étaient coulés dans des bacs de grande capacité dans lesquels ils cristallisaient. Les locaux où étaient disposés ces bacs, dénommés *emplis*, étaient maintenus à une température de 40 à 50°.

Ce procédé ne permettait que l'obtention du sirop roux. Nous verrons comment on a compliqué le travail pour obtenir exclusivement du sucre blanc et de la mélasse ; le principe commun à tous les procédés employés est celui de la cristallisation en mouvement, qui permet l'épuisement méthodique des produits.

Wulf montra que c'est par le mouvement des masses que les cristaux de sucre s'accroissent. Avant ses observations on croyait qu'une ébullition tumultueuse était la cause de formation de petits grains. On méconnaissait la cause réelle de la production de ces petits cristaux c'est-à-dire la sursaturation de la solution provoquée par une évaporation trop rapide.

Malaxeurs.

Les Allemands rapportent exclusivement à Wulf le mérite de l'invention de la cristallisation en mouvement. Il ne faut pas cependant, sans réduire les mérites de celui que des idées théoriques conduisirent à des réalisations industrielles, méconnaître la part très grande qui revient à l'ingénieur français Jules Bocquin.

Le premier malaxeur construit avec refroidissement par circulation d'eau, prototype des appareils servant à pratiquer la cristallisation en mouvement semble en effet être celui de Bocquin, qui date de 1880.

Les malaxeurs ordinaires ne comportant pas l'emploi du vide ont été construits en divers modèles se rapportant plus ou moins au type primitif de Bocquin et Lipchinski (fig. 153 à 156). La modification la plus importante qui a été faite a consisté à remplacer

les bras par des ellipses en fer méplat reliés à l'axe. Ce système d'agitateur est très supérieur aux bras simples primitifs (fig. 157).

Malaxeur Ragot. — Un important progrès a été introduit (en 1896 à Meaux) par *J. Ragot* qui remplaça les bras et les ellipses par des serpentins qui tournent dans la masse et qui reçoivent de l'eau ou de la vapeur. L'axe du mouvement est creux et sur lui se relient les extrémités des serpentins.

L'emploi des malaxeurs *Ragot* facilita le travail des masses

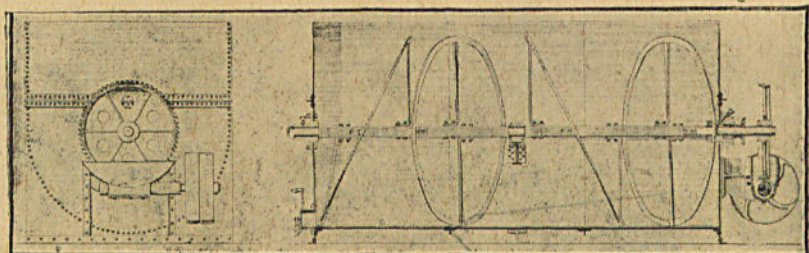


Fig. 153. — Malaxeur ouvert (Coupe longitudinale et coupe transversale.

cuites avec rentrées d'égout, qui se généralisa dans les sucreries après sa création.

On a aussi construit des cristalliseurs dans lequel le mouvement, au lieu d'être produit exclusivement par une hélice tournant autour d'un axe, se complète par un mouvement dans le sens vertical qui a pour effet de soulever la masse et de la laisser ensuite retomber. Le mouvement est transmis à des bras par une forte tige à crémaillère actionnée par une roue dentée ; deux appareils semblables sont conjugués et la tige de l'un monte pendant que la tige de l'autre descend ; une même roue dentée communique le mouvement aux deux récipients conjugués. On voit que ce sont des appareils très compliqués convenant seulement à de grandes installations et d'ailleurs nécessitant une consommation de force motrice excessive.

Hélice Mastaing et Delfosse. — L'hélice Mastaing et Delfosse est caractérisée par sa très grande longueur (11 m.). Elle tourne dans une auge à double paroi dans laquelle circule de l'eau froide. La puissance de réfrigération de cet appareil est encore augmentée

par des cadres disposés verticalement et qui reçoivent aussi de l'eau froide.

La surface de refroidissement totale est de 1 mètre carré et demi par hectolitre.

L'eau de refroidissement circule dans chaque groupe formé de quatre cadres ; elle pénètre par une extrémité de l'hélice et sort

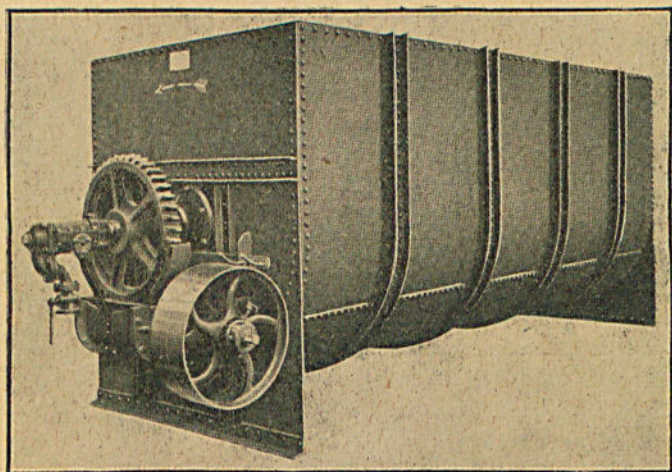


Fig. 154. — Malaxeur ouvert à double enveloppe, vue extérieure.

par l'extrémité opposée. La masse cuite sort du côté où l'eau arrive ; on réalise ainsi un refroidissement méthodique.

Malaxeur Lafeuille. — M. Lafeuille a consacré de longues années à l'étude de la cristallisation en mouvement et est arrivé à la construction d'un malaxeur de construction très rationnelle (fig. 158 et 159). Cet appareil se compose d'un cylindre à axe horizontal construit en forte tôle et parfaitement étanche dans lequel on introduit la masse cuite. Ce cylindre porte, à l'extérieur, deux chemins de roulement en acier, supportés par quatre paires de galets en acier, reliés deux à deux par un balancier reposant sur un support muni d'une vis de rappel pour le réglage de la hauteur : une roue dentée commandée par vis sans fin, poulie fixe et folle.

Les fonds sont constitués par deux plaques tubulaires en tôle. A l'intérieur du cylindre se trouvent 72 tubes horizontaux,

reliés deux à deux formant ainsi un tube unique traversé dans toute sa longueur par un courant d'eau.

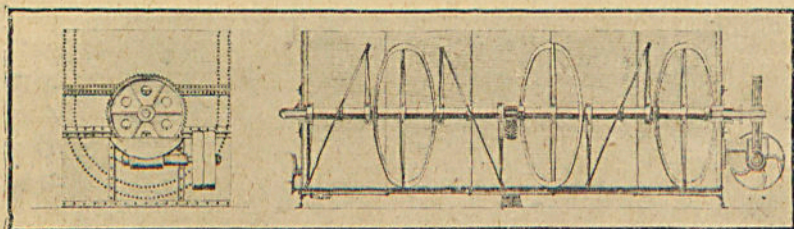


Fig. 155. — Malaxeur à double enveloppe. Coupe transversale et coupe longitudinale.

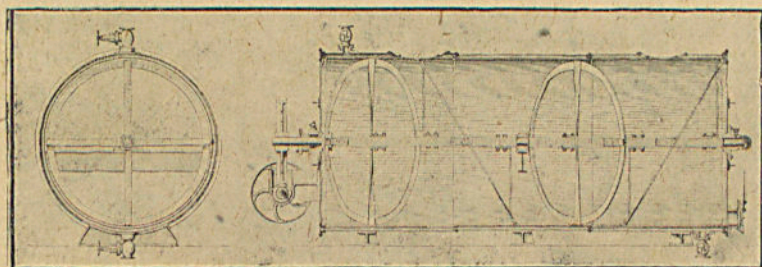


Fig. 156. — Malaxeur fermé à double enveloppe.

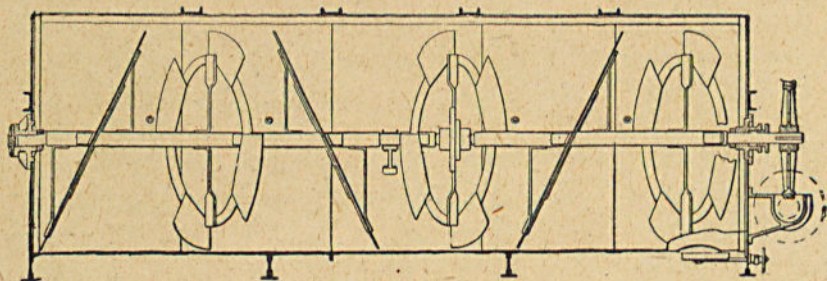


Fig. 157. — Malaxeur à ellipses.

Suivant que le malaxeur est placé à un niveau inférieur, sur le même plancher, ou à un étage supérieur à celui des appareils

à cuire, l'introduction de la masse cuite peut être faite par les trous d'homme spécialement disposés ou être centrale et obtenue par l'action du vide ou de l'air comprimé.

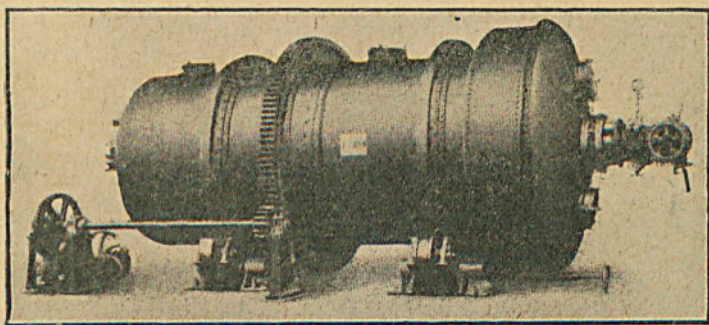


Fig. 158. — Malaxeur Lafeuille.

La vitesse de rotation de l'appareil est très faible ; l'auteur fait en effet observer que pour la cristallisation la simple chute du grain est un mouvement suffisant.

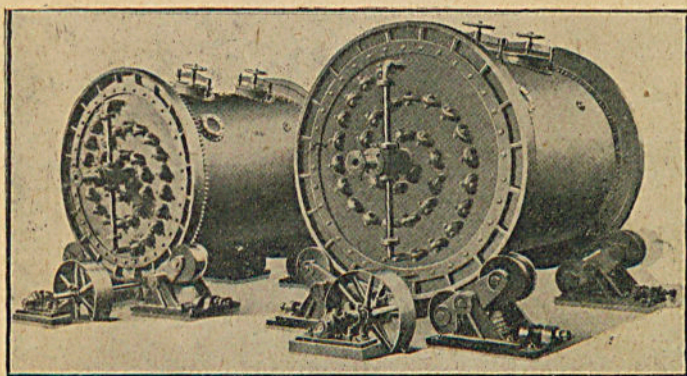


Fig. 159. — Malaxeurs Lafeuille.

Les malaxeurs rotatifs Lafeuille peuvent être placés à côté des appareils à cuire d'où facilité dans les installations pouvant aller parfois jusqu'à éviter un étage. Au point de vue du travail, M. Lafeuille fait observer que cette disposition permet de reprendre

dans l'appareil à cuire, une cuite épuisée par refroidissement en mouvement. Bien des opérations fort intéressantes pourront être de la sorte grandement facilitées : obtention de gros grains, dédoublement de cuites, préparation de cuites par rentrée de cristaux, etc.

Le *Malaxeur tubulaire rotatif* placé ainsi à côté de l'appareil à cuire constitue un *vase clos en mouvement*. L'appareil à cuire et le vase clos forment un ensemble qui permettra bien des solutions dans la conduite de la cuite, en vue d'améliorer le développement des cristaux et l'épuisement des égouts.

En somme cet appareil a un principe tout différent des appareils qui sont employés jusqu'alors. Au lieu d'être formé d'une cuve fixe dans laquelle on malaxe la masse cuite il est formé d'un cylindre dans lequel circule de l'eau ; on retourne la masse aussi lentement que possible. Et cependant malgré la lenteur du mouvement aucune partie de la masse n'échappe à l'action de la surface refroidissante et sans que soit jamais supprimé le déplacement relatif du grain par rapport à la masse relativement fluide aux dépens de laquelle il se nourrit.

Par l'emploi de ce procédé au lieu d'ajouter à la masse cuite pendant son refroidissement des sirops d'égouts on ne fait aucune addition, car une fluidification du milieu n'est pas nécessaire.

Selon l'auteur en refroidissant sans addition d'égout on profite de la grande marge de cristallisation qui existe en puissance dans la masse cuite et on l'utilise très rapidement : avec une masse cuite de raffiné une heure, avec les masses cuites de mélasse 18 heures suffisent.

Conduite de la cristallisation en mouvement.

Dans la cristallisation en mouvement, par suite du refroidissement, le coefficient de sursaturation varie sans cesse. A mesure que la température s'abaisse il augmente. Quand la sursaturation est trop grande la cristallisation ne se produit plus. On diminue la sursaturation en ajoutant une certaine quantité d'eau ; on la maintient ainsi dans les limites favorables, c'est-à-dire à un chiffre aussi voisin que possible de 1,10 — 1,15. On ajoute préféablement à l'eau un égout ayant une teneur en eau bien connue.

La teneur en eau des égouts peut être déterminée approxima-

tivement, à défaut d'un dosage direct, en retranchant de 100 le sucre augmenté du non sucre (déterminé par différence entre le brix et le sucre) multiplié par 0,9. Le quotient $\frac{\text{sucre}}{\text{eau}}$ est divisé par le chiffre trouvé dans la table de Flourens (solubilité du sucre aux différentes températures) pour la température constatée dans le réfrigérant au moment de la prise d'échantillon. Ce quotient est dit quotient de sursaturation.

C'est quand la valeur de ce quotient se maintient aux environs de 1,40 qu'on constate le plus grand abaissement de pureté de l'égout.

Table de Flourens
donnant la solubilité du sucre dans l'eau à différentes températures

Tempér. en degrés cent.	Sucre pour %	Degrés de l'aréomètre Baumé		Degrés du densimètre Gay-Lussac	
		à la temp. observée	à 15°	à la temp. observée	à 15°
0°	64,7	35,30	34,60	1,3225	1,1350
5	65	35,35	34,90	1,3243	1,3190
10	65,5	35,45	35,20	1,3255	1,3225
15	66	35,50	35,50	1,3260	1,3260
20	66,5	35,60	35,75	1,3275	1,3290
25	67,2	35,80	36,25	1,3300	1,3355
30	68	36,00	36,70	1,3325	1,3405
35	68,8	36,20	37,10	1,3450	1,3460
40	69,75	36,40	37,50	1,3375	1,3510
45	70,80	36,75	38,10	1,3410	1,3590
50	71,80	37,10	38,70	1,3460	1,3660
55	72,80	37,50	39,30	1,3510	1,3740
60	74	37,90	39,90	1,3560	1,3820
65	75	38,30	40,55	1,3615	1,3910
70	76,10	38,60	41,10	1,3650	1,3980
75	77,20	39,00	41,70	1,3700	1,4060
80	78,35	39,30	42,20	1,3740	1,4130
85	79,50	39,65	42,80	1,3790	1,4220
90	80,60	39,95	43,30	1,3820	1,4290
95	81,60	40,10	43,70	1,3850	1,4340
100	82,50	40,30	44,10	1,3875	1,4400

En pratique, en sucrerie de betteraves, le non-sucre exerce toujours sensiblement la même influence sur la solubilité, pour un travail normal bien entendu, sans excès de chaux, et pour des betteraves normales. Il est possible qu'un progrès important

dans les procédés d'épuration modifie la valeur de cette proposition.

Les chiffres suivants résument, d'après Claassen, les données essentielles à connaître. Pour les produits de puretés diverses à la température de 40 à 50 qui est celle de la fin de la cristallisation en vue du turbinage, on a les coefficients suivants :

Pureté	Coefficient :
75	1,0
75, 70	1,0 1,05
70, 65	1,05 1,10
65, 60	1,10 1,25
au dessous de 60	1,30

Si on considère la mélasse, c'est-à-dire le produit de 60 à 62 de pureté, le coefficient variera comme il est indiqué ci-dessous avec la température :

Température	Sucre dissous pour 1 partie d'eau		Coefficient :
	Dans un sirop 60 à 62 saturé	Dans une solution saturée de sucre pur	
80°	5,8	3,6	1,6
70	4,8	3,2	1,5
60	4,1	2,9	1,4
50	3,4	2,6	1,3
35	2,8	2,3	1,2
20	2,3	2,0	1,15

Refonte des seconds jets.

La pureté normale des masses cuites est de 75 ; avec cette pureté il est nécessaire pour extraire tout le sucre cristallisable possible de cuire deux fois.

On obtient à la suite de la première cuite donnant du sucre blanc, après turbinage soigné, un égout qui a 65 à 68 de pureté et on cuit à nouveau cet égout pour avoir un sucre de second jet ou sucre roux.

Des installations de malaxeurs bien comprises permettent aujourd'hui d'éviter une troisième cuite.

Depuis une vingtaine d'années un très grand nombre de sucreries procèdent à la refonte de leurs sucres de second jet et introduisent ce sirop de refonte dans le sirop d'usine.

Ce sirop de refonte a en général une pureté de 95, alors que la pureté du sirop d'usine est de 92 environ.

Est-ce à dire qu'au point de vue économique la refonte des sucres de second jet soit la solution la plus économique ? Etant donné le produit constitué par des grains entourés de mélasse, c'est-à-dire en somme d'un produit formé de deux parties de composition très différente, est-il logique de fondre le tout ensemble et n'est-il pas plus simple de compléter la séparation déjà commencée par un traitement approprié ? En d'autres termes, n'est-ce pas plutôt l'*affinage* qu'il est logique d'employer pour traiter économiquement le sucre de second jet extrait des turbines ?

L'affinage consiste à séparer l'eau mère du sucre brut par un nouveau turbinage avec une clairce ou solution concentrée qui ne dissout pas le sucre déjà cristallisé. Ce déplacement peut d'ailleurs se faire aussi dans les *nutsches* (procédé Steffen).

C'est là l'opération qui logiquement doit être réservée au raffineur ; il est rationnel en effet de ne pas compliquer, le matériel et le travail de la sucrerie. Mais des conditions commerciales interviennent et les fabricants de sucre se disent dans l'obligation de refondre en raison des exigences des raffineurs. Les réfections imposées leur semblent injustifiées. Elles le sont certainement dans le cas de sucres provenant d'usines où une bonne épuration est pratiquée et qui ne contiennent la majeure partie de leurs impuretés que dans l'eau-mère. Les méthodes d'analyse pratiquées pour fixer le prix des sucres bruts allant en raffinerie ne tiennent pas compte de cette considération.

Méthodes diverses de travail des masses cuites de second jet et des égouts.

Procédé Stammer et Bock.

Dans le procédé *Stammer et Bock*, on réchauffait les sirops cuits au filet, jusqu'à 75°-80°, et on les coulait dans un malaxeur, dans lequel on avait mis une amorce de cristaux. Ce malaxeur était refroidi lentement, et la solution sursaturée abandonnait peu à peu son sucre. On prend comme amorce, du sucre roux, d'un poids d'environ 10 % de poids de l'égout. La cristallisation s'effectue peu à peu, sous forme d'une agglomération de petits grains, assez différents d'une cristallisation de masse-cuite.

Au contraire, dans le procédé *Hucke et Lauke*, on coule, dans un malaxeur fermé, des sirops peu chauds, avec une amorce, et on fait le vide. Le malaxage et l'évaporation donnent une masse-cuite faite lentement et permettant ainsi l'obtention de cristaux analogues à ceux d'une cuite ordinaire. On fait des rentrées d'égouts, dans cette masse cuite, pour la délayer après qu'elle a été très serrée. On concentre à nouveau. C'est une cuite lente, qui permet un appauvrissement important.

Procédé Raeymackers.

Le procédé *Raeymackers* qui date de 1890 est basé sur des considérations théoriques assez développées relatives à la sursaturation du sucre. Il a eu un certain retentissement, d'autant plus qu'il est comme un complément du procédé *Steffen* de lavage des masses cuites.

Raeymackers considère le rapport entre le non-sucre et l'eau d'une mélasse épuisée. Dans une telle mélasse, le rapport du non-sucre à l'eau est sensiblement de 1 à 2. Si on considère une masse cuite qu'on veut finalement séparer en sucre cristallisé et mélasse, il importe que, dans cette masse cuite, l'eau et le non-sucre soient précisément dans ce rapport.

Une masse cuite de composition moyenne comme celle-ci par exemple :

Pureté	91		
Brix	93	Sucre	84, 63
Eau	7	non sucré	8, 37

a un rapport entre l'eau et le non-sucre $\frac{7}{8,37}$, assez différent du rapport correspondant à la mélasse épuisée.

Pour arriver au rapport convenable, dans la masse cuite ci-dessus, le procédé qui semble le plus simple est la diminution de l'eau par concentration. Pour pouvoir obtenir ce rapport, il faudra amener la masse cuite à la composition ci-dessous :

Pureté	91		
Brix	96	Sucre	87, 46
Eau	4	Non sucre	8, 64

Mais une telle masse-cuite, d'ailleurs difficile à obtenir dans l'appareil ordinaire, donne par refroidissement un bloc compact qui ne peut être travaillé sans addition d'un produit plus liquide pour le diluer.

Il est plus rationnel d'augmenter le non-sucre dans la masse cuite. On peut alors pour réaliser le rapport dont nous avons parlé plus haut, entre l'eau et le non-sucre, maintenir une quantité d'eau telle qu'on puisse refroidir la masse dans un malaxeur, en lui conservant une fluidité suffisante pour le travail dans ce malaxeur.

On pourra, par exemple, obtenir la composition suivante :

Pureté	82,60	sucré	76,00
Brix	92,00	non sucré	16,00
Eau	8,00		

Par égouttage naturel (et c'est là l'intérêt—théorique du moins—du procédé de lavage des masses cuites), on aura un égout dont la pureté sera très proche de 60, c'est-à-dire celle de la mélasse épuisée en travail courant.

En turbinant, on aura un égout plus riche, par exemple 65.

Pour pratiquer ce procédé, il faut rentrer une quantité d'égout considérable, ce qui représente une facilité de travail.

Quoique ce fait soit en apparence paradoxal, on constate que les sucres sont d'autant plus blancs, que les égouts rentrés à la cuite sont plus pauvres. En effet, plus ces égouts sont pauvres, moins ils abandonnent de sucre par cristallisation. Plus donc est grande, dans le produit final la quantité de sucre provenant du sirop d'usine, lequel est plus pur que celui qui provient des égouts.

On peut, soit effectuer la rentrée des égouts à la cuite, soit l'effectuer dans le malaxeur.

On rentre à la cuite des égouts préalablement dilués à 60° Brix.

Dans le procédé *Kestner-Lagrange*, les égouts pauvres passent dans un réchauffeur, puis sont envoyés dans un évaporateur Kestner où, après un temps de séjour très court (environ 2 minutes) ils sont portés à 127°. Cette température correspond à une teneur en eau de 8 % environ.

Ils passent ensuite dans un réfrigérant qui les refroidit à 106°, puis dans un malaxeur muni d'un trop-plein par où la masse cuite tombe dans une noyère qui la transporte dans un autre malaxeur situé en contre-bas. Celui-ci déverse à son tour dans un 3^e malaxeur, etc.

Le dernier malaxeur déverse la masse cuite dans un délayeur où arrive aussi de la mélasse. De ce délayeur, le mélange va aux turbines.

Les malaxeurs sont munis de doubles enveloppes pour le refroidissement.

On emploie des malaxeurs d'une petite capacité et d'une assez grande longueur.

Il est prévu, dans ce procédé, pour un travail de 500 tonnes de betteraves par 24 heures, un réchauffeur de 5 m²; un évaporateur à descendage de 10 m², un refroidisseur ; 4 malaxeurs de 70 HL de capacité utile, avec une surface de refroidissement de 0 m², 30 par hectolitre ;

Un délayeur de 20 HL et 4 turbines de 0, 80 de diamètre.

Par ce procédé, on obtient sans séparation, un égout d'une pureté moyenne de 78. On supprime ainsi toute rentrée dans la cuite, en dehors de celle du sucre de 2^e jet refondu.

Dans le procédé *Abraham* on fait d'abord une cuite en grains d'égouts riches, pour constituer une amorce, formée de cristaux bien réguliers, ce qui, suivant l'auteur, présente une grande supériorité sur la méthode qui consiste à utiliser une amorce provenant d'une masse cuite ordinaire, dans laquelle il y a une proportion variable de grains divers.

L'amorce régulière est introduite dans un malaxeur. De ce malaxeur la quantité nécessaire à une cuite est prélevée et on nourrit le grain, tant qu'il grossit, par des rentrées. On coule enfin dans des malaxeurs ouverts sans refroidisseurs ; on délaye avec de la mélasse et on turbine.

Procédé sucre et mélasse.

En 1899 M. Manoury a appliqué à la Sucrerie de Gonesse le procédé dit « sucre et mélasse » en vue de supprimer les produits de second jet. Le procédé consiste à faire un pied de cuite, à nourrir le grain dans l'appareil à cuire avec du sirop provenant de l'appareil d'évaporation ou sirop vierge, jusqu'à ce qu'on ait atteint environ les 2/3 du volume qui, finalement, sera introduit dans l'appareil ; à ce moment on introduit dans l'appareil les égouts riches provenant des turbinages précédents ; on introduit ensuite les égouts pauvres. On concentre jusqu'à obtention d'une masse cuite contenant 5,5 % d'eau. On coule alors la masse cuite dans un malaxeur. La température de coulée est 85°. On abaisse la température jusqu'à 50°. On ajoute de l'eau pour maintenir la fluidité.

La quantité d'eau qu'il faut ajouter par cent kilos de masse cuite peut approximativement se déterminer ainsi. Si on prend les chiffres 4 et 3 pour mesurer approximativement les quantités de sucre dissous par l'unité d'eau aux températures respectives de 85° et de 50° on a :

sucre dissous à la tombée $5,5 \times 4 = 22$ kilogs.

Cette quantité de sucre admet pour être maintenu à 50°

$$\frac{5,5 + x}{3} = 22$$

d'où $x = 1,83$, poids d'eau en kilogs à ne pas dépasser par cent kilogs de masse cuite.

Beaucoup de fabricants se sont inspirés du procédé Manoury et pratiquent des méthodes analogues en faisant rentrer dans la cuite des produits de richesse décroissante jusqu'à de la mélasse, l'introduction de celle-ci dans l'appareil à cuire donnant à la masse une fluidité suffisante pour dispenser d'y ajouter de l'eau dans le malaxeur. D'autres réalisent la fluidité nécessaire par addition de mélasse dans le malaxeur pendant le refroidissement.

Procédé E. Dufay.

Ce procédé a pour objet le traitement des égouts de premier jet sans opération mécanique. Les égouts sont cuits comme au filet, puis on les coule dans des vases à grande surface de refroidissement pour assurer une cristallisation rapide de la masse ; on égoutte ensuite les cristaux puis on les refond dans le vase même où ils se sont produits, et on réintègre cette fonte dans la cuite de 1^{er} jet. On obtient en définitive du sucre blanc et de la mélasse épuisée.

Le principe du procédé est celui de la cristallisation des sels par refroidissement. Si on verse une eau mère saturée à chaud dans un vase profond les premiers cristaux qui se formeront dans la masse tombent au fond du vase, les suivants viendront les recouvrir et ainsi de suite, les cristaux se superposent les uns aux autres jusqu'à ce que la masse arrive à un état d'équilibre tel que, dans aucune de ses parties, l'eau-mère ne puisse plus nourrir les cristaux qu'elle baigne. L'eau mère occupant la partie inférieure du vase sera la plus épuisée, ayant eu à nourrir le plus grand

nombre de cristaux. A mesure qu'on se rapproche de la partie supérieure l'eau mère sera de plus en plus pure.

Si on fait écouler l'eau mère en la faisant passer à travers un tissu filtrant disposé sur le fond du vase qui retient les cristaux, cette eau mère traversera une couche de cristaux d'autant plus épaisse qu'elle sera plus près de la partie supérieure du vase c'est-à-dire qu'elle sera plus riche. Ayant donc à nourrir davantage de cristaux elle s'appauvrira davantage et quand l'eau mère s'écoulera du vase elle sera arrivée au même degré d'épuisement.

On a donc déterminé une épaisseur de cristaux que devait traverser l'eau mère surnageante pour qu'elle arrive en bas épuisée c'est-à-dire sous forme de mélasse.

On a résolu le problème par l'emploi de vases à section trapézoïdale de 1 m, 50 de haut 0 m, 45 de large au sommet et 0 m, 12 à la base d'une longueur quelconque.

Le fond muni d'ouvertures longitudinales étroites, fermées par des obturateurs, reçoit en outre une toile filtrante fixée à un faux fond. A chaque extrémité du canal formé par le faux fond et le fond on a adapté un robinet qui communique avec un ensemble de tuyaux destinés à l'arrivée du liquide dissolvant des cristaux et à l'enlèvement de la masse dissoute. Quand la mélasse est évacuée par les orifices on y place les obturateurs. On fait arriver par un des robinets du jus prélevé dans le réservoir qui alimente l'appareil à évaporer. Ce jus traverse toute la masse cristallisée, et purgée de bas en haut, sort par un trop plein ménagé à la partie supérieure et de là se rend dans un réservoir d'où une pompe le renvoie dans la circulation des jus avant l'évaporation.

Le procédé donne en réalité une mélasse peu épuisée. Il est intéressant en raison de son originalité.

Procédé Brunehant-Viéville.

La cuite de 1^{er} jet étant faite avec du sirop vierge des égouts et du sirop de refonte, on la coule dans des malaxeurs où elle se refroidit peu à peu. Elle donne au turbinage fait vers 60-65° du sucre blanc et des égouts pauvres qui ont 73-75 de pureté. On cuit au filet ces égouts et on les coule dans des bacs d'emplis où ils sont soumis à un malaxage continu à l'aide de bras supportés par un arbre vertical.

On fait écouler par la partie inférieure des bacs la masse cristallisée ; diluée avec un peu de mélasse elle est envoyée aux turbines. On évite la vidange totale de manière à laisser une partie de la masse cuite qui facilite la cristallisation de la coulée suivante.

Le sucre recueilli aux turbines est refondu avec du jus de dernière carbonatation.

Procédé Druelle-Say.

Dans ce procédé on refroidit énergiquement avec malaxage constant l'égout pauvre du turbinage de 1^{er} jet. La masse refroidie pendant 3 jours est amenée à la température la plus basse possible. Les cristaux sont séparés par le filtre-presse.

La cuite premier jet est formée de sirops et de sucres de 2^e jet refondus auxquels on ajoute des égouts riches. Elle est serrée à 7 % d'eau. On turbine à 70°; l'égout pauvre obtenu a une pureté de 77 (pureté apparente). On le refroidit énergiquement jusqu'à 18 à 20°, puis la masse cristallisée est passée au filtre-presse. Le sucre qu'on recueille polarise 88 et l'égout a une pureté de 70. Cet égout recuit donne aisément de la mélasse. On obtient ainsi sucre et mélasse en deux jets avec un matériel simple puisque on peut employer des filtre-presses ordinaires montés avec une toile de coton. On envoie l'air comprimé quand la presse est pleine pour purger la masse. Les tourteaux sont recueillis après démontage du filtre dans une nochière à hélice où on le mélange avec du jus de 2^e carbonatation.

Dans le *procédé Mastaing et Delfosse* au lieu de refroidir l'égout pauvre de 1^{er} jet on le cuit au filet et la masse est envoyée dans l'hélice malaxeuse, de grande longueur et à grande surface de refroidissement, que nous avons indiquée précédemment.

Procédé Ragot. — Ce procédé d'un emploi assez répandu a pour but d'obtenir sucre et mélasse en deux jets avec refonte du sucre de deuxième jet. Il est caractérisé ainsi : la cuite de 1^{er} jet est commencée avec du sirop vierge mélangé avec du sirop de refonte et des égouts riches. Ce mélange est sullité jusqu'à presque neutralité et filtré deux fois. On effectue la cuite en grains en l'alimentant aux deux tiers avec ce mélange de sirop puis on rentre jusqu'à la fin des égouts pauvres tels quels, non sullités.

La masse cuite coulée contient de 9 à 9,5 % d'eau. On la fait

tomber dans les malaxeurs Ragot que nous avons décrits précédemment. On refroidit jusque vers 40° en neuf à douze heures. La masse est ensuite turbinée. Pendant le refroidissement on ajoute un peu d'égout dilué non sulfité.

On fait le pied de cuite du second jet avec le mélange de sirops et on continue la cuite avec des égouts pauvres dilués à 34-35 Baumé sulfités et filtrés deux fois.

La cuite dure de 24 à 30 heures. Vers la fin on rentre de la mélasse diluée, environ un dixième du volume de la cuite totale. La masse cuite est coulée à 10 % d'eau; elle est reçue dans les malaxeurs où elle est traitée pendant 36 heures jusqu'à la température de 35°. Pendant le refroidissement on ajoute de la mélasse diluée.

En coulant une masse cuite dont l'égout a 75, 5 de pureté réelle et 7 de salin on arrive, au bout de 6 jours à 63 à 63, 5 de pureté avec un salin de 4,40.

Procédé Claassen.

Le D^r Claassen emploie un procédé semblable au procédé Ragot mais il ne refond pas le sucre de 2^e jet. La caractéristique de la méthode est le réglage systématique de la cuite au moyen du *bramoscope* qui permet le contrôle constant du degré de sur-saturation de la masse-cuite et dont nous donnons ci-dessous la description sommaire.

Cet appareil qui peut aussi être appelé *ébulliodensimètre*, imaginé par Curin, permet par simple lecture de connaître à chaque instant la densité de la masse cuite. Il comporte un thermomètre plongeant dans la masse cuite dont l'échelle T vient se fixer sur une planchette en regard d'une échelle graduée suivant les indications d'un vacuomètre V en communication avec le dôme de l'appareil à cuire.

Si on faisait bouillir de l'eau dans l'appareil en augmentant le vide les chiffres marqués par le thermomètre et ceux marqués par le vacuomètre suivraient les données de la table de Regnault. Si on fait bouillir du sirop les indications du thermomètre seront plus élevées que les indications du vacuomètre correspondant aux chiffres de la table de Regnault. On a mis entre les deux échelles

un curseur qui déplace avec lui une réglette portant l'échelle des degrés Brix (sucre%).

La graduation de cette échelle est telle que le curseur étant placé en regard de l'indication du vacuomètre, le chiffre du thermomètre doit coïncider avec le chiffre de la réglette correspondant au degré Brix auquel on veut amener la cuite. On agit sur le vide et sur la vapeur de chauffage pour que cette coïncidence soit réalisée.

Procédé Simplex.

Dans ce procédé préconisé par la maison Maguin la cuite de 1^{er} jet est faite comme d'habitude avec rentrées d'égout riche et rentrée de mélasse pour obtenir une eau mère de pureté basse. Avant coulée on prélève l'amorce introduite dans l'appareil à cuire de second jet. Il suffit de faire le vide dans ce dernier appareil et d'ouvrir la soupape. On ferme celle-ci quand la quantité convenable d'amorce est introduite. On cuit alors avec des égouts et on fait en fin de cuite, après serrage, rentrer de la mélasse en quantité telle qu'on ait à la fin un égout de 65 de pureté.

Pour fixer les idées nous donnons ci-dessous la proportion des divers éléments entrant dans 100 hectolitres de cette masse cuite :

Masse cuite de 1 ^{er} jet	20
Egout de 1 ^{er} jet	70
Mélasse	10

On produit environ 2 hect, 8 de masse cuite par 100 kilogs de betteraves. La cuite dure 20 heures, le malaxage 36 heures, le turbinage 10 heures. C'est donc après 66 heures qu'en partant de la masse cuite de 1^{er} jet on aura le sucre de 2^e jet et la mélasse à vendre.

Les résultats indiqués par Maguin sont les suivants :

La masse cuite d'amorce ayant 82,50 de pureté, la masse cuite de 2^e jet à la fin a 71,60 de pureté avec un égout de 64,65 pour la température de coulée de 90°.

L'abaissement de pureté de cet égout suit la marche indiquée par ces chiffres pour des prélèvements faits de 6 en 6 heures, le dernier correspondant à la mélasse épuisée :

Pureté	63,05	60,95	58,90	58,10	57,34	56,84
Température	80°	70°	60°	50°	42°	36°

Au turbinage la pureté de l'égout remonte un peu, à 57, 25. Le sucre de 2^e jet refondu rentre dans le travail.

Procédé de Prangey et de Grobert.

Ce procédé comporte, préalablement à l'épuisement des égouts, leur traitement par sulfitation à froid puis réchauffage avec addition de chaux ou de baryte pour que, après ébullition, il y ait une alcalinité de 0,15. Après filtration sur sable les égouts sont envoyés dans un bac d'attente maintenu à 80° et soumis à un procédé d'épuisement caractérisé par les deux phases suivantes.

1^{re} phase. — Epuisement partiel au contact d'un pied de cuite calculé de manière telle que le poids des cristaux devant servir d'amorce soit en rapport avec ce que les auteurs appellent le *sucre disponible* dans les égouts, dont la quantité varie avec la pureté de l'égout travaillé. Les auteurs appellent *sucre disponible* la quantité maxima qu'on peut séparer par les agents physiques, c'est-à-dire par concentration et refroidissement jusqu'à formation de la mélasse épuisée. Ce poids se déduit aisément de la composition de l'égout et de la composition du produit considéré comme mélasse épuisée.

L'amorce est constituée par un pied de cuite fait dans un appareil ordinaire ou par des cristaux de sucre brut délayés dans un égout.

Le poids des cristaux doit être de 3 fois le poids de sucre disponible si les égouts ont une pureté de 75; 4 à 5 fois ce poids si la pureté est 70; 6 à 7 fois si la pureté est 65 et jusqu'à 15 fois ce poids si la pureté est de 60.

Le *crystalliseur* (fig. 160) est en réalité un véritable appareil à cuire formé par un cylindre horizontal à double enveloppe chauffée par la vapeur de jus ou la vapeur d'échappement. L'axe du cylindre est occupé par un arbre à hélices assurant une agitation telle qu'aucun point de la masse ne puisse y échapper. En dehors de tous les accessoires nécessaires à un appareil à cuire, le *crystalliseur* est muni d'un tuyau très large en relation avec l'appareil à cuire ou le malaxeur dans lequel on prépare l'amorce.

Lorsque les $\frac{4}{5}$ de la capacité utile de l'appareil sont remplis avec du sirop d'égout pauvre on continue l'alimentation avec de

la mélasse épuisée provenant d'une opération précédente, tout en serrant la masse, jusqu'à ce qu'elle contienne 5 à 7 % d'eau.

L'épuisement est alors continué dans l'appareil pendant 24 à 36 heures jusqu'à ce que la température de la masse tombe à 58°. On coule alors dans un malaxeur où s'effectue la deuxième phase du travail.

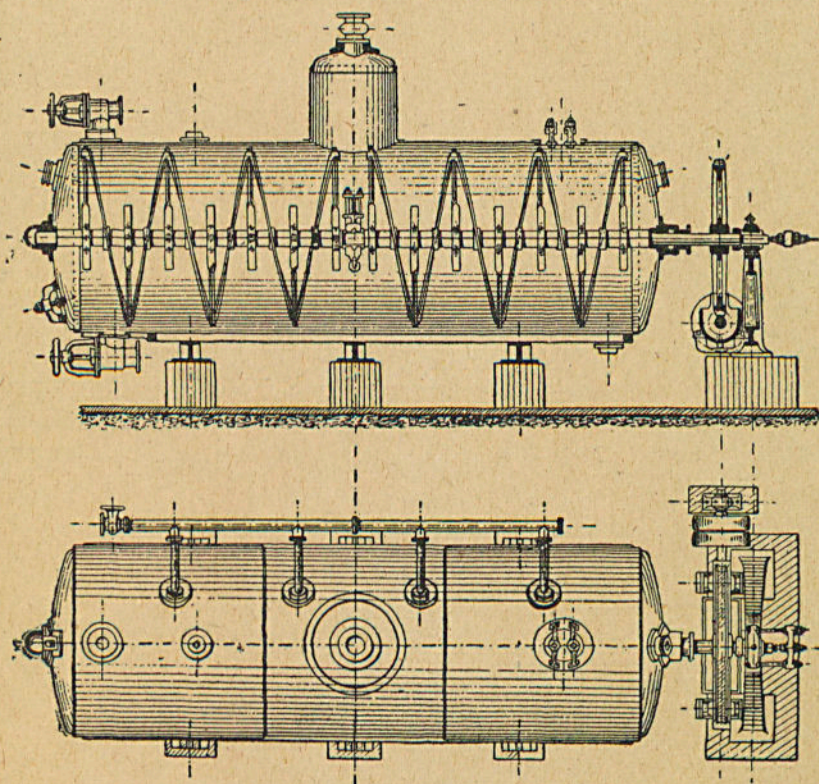


Fig. 160. — Cristalliseurs sous vide.

Pendant cette deuxième phase comportant un refroidissement complet jusque 35,40 on n'ajoute pas d'eau. C'est par l'augmentation considérable de la quantité de cristaux de sucre que les auteurs du procédé provoquent la cristallisation du sucre en dissolution dans la masse, sans en immobiliser une certaine quantité par l'addition d'eau. Seule la cristallisation diminue le coefficient de sursaturation. On facilite le turbinage en ajoutant de la mélasse à 35 Baumé.

En réalité, il existe un nombre pour ainsi dire illimité de méthodes d'épuisement des masses-cuites ; chaque usine a la sienne plus ou moins originale et adaptée au matériel dont elle dispose.

C'est donc surtout à titre d'exemple que nous avons indiqué les procédés ci-dessus.

Granulés américains.

Aux Etats-Unis, on sort des fabriques une seule sorte de sucre dit « Beet standard granulated ».

Pour obtenir ce sucre on pratique une épuration très soignée, double carbonatation et sulfitation des jus et des égouts.

L'égout de clairçage de ce sucre est soumis à une nouvelle sulfitation et rentré dans la cuite de premier jet.

L'égout vert de 1^{er} jet est cuit à nouveau. Le sucre qui provient du turbinage de la masse cuite de 2^e jet est refondu et réintroduit dans le sirop à cuire en 1^{er} jet.

La mélasse est toujours désucriée par le procédé Steffen généralement dans l'usine même ou conduite dans une autre usine où a lieu son désucriage.



CHAPITRE V

LA MÉLASSE

Définition. — Généralités.

La *mélasse* est le produit final de la fabrication du sucre dont on ne peut *pratiquement*, par les seuls procédés physiques de cristallisation, retirer du sucre. On ne peut donner d'autre définition de la mélasse, malgré son caractère tout à fait relatif. L'impossibilité de faire cristalliser le sucre est inhérente à la solubilité du sucre dans la solution formée par l'eau et les impuretés organiques et minérales. Si on diminue la concentration par évaporation de l'eau on ne provoque pas de dépôt de sucre au delà d'une certaine limite, vraisemblablement par suite de l'augmentation de la viscosité qui s'oppose à la cristallisation ; l'abaissement de la température agit dans le même sens, ou bien, si on provoque la formation de nouveaux cristaux ils sont de dimensions si réduites qu'on ne peut les séparer de la mélasse.

En pratique c'est à 58, 5 qu'on peut fixer le degré moyen de pureté réelle de la mélasse, et encore le chiffre de 60 est-il souvent considéré comme très satisfaisant. Le minimum qu'on puisse rencontrer pour un travail normal (sans impuretés accidentelles additionnées ou provenant de la destruction anormale de sucre) est 54,5.

On constate généralement que la pureté des mélasses du commencement de la fabrication est plus faible que la pureté des mélasses obtenues en fin de campagne.

Les mélasses à degré de pureté très faible obtenues comme terme de la cristallisation des masses-cuites les plus pauvres ne

sont généralement pas expédiées hors de la sucrerie avec ce degré de pureté, car elles contiennent une certaine quantité de sucre dissous pendant le turbinage du fait d'addition d'eau au cours de l'opération.

Les mélasses s'écoulent d'ailleurs à un degré de concentration tel qu'elles peuvent être manutentionnées à chaud, mais ne pourraient l'être à froid. Elles sont donc diluées et ramenées du chiffre de 13 à 15 % d'eau à celui de 18 à 20 %. On obtient souvent en mélasse 4 % du poids des betteraves. Ce chiffre s'abaisse actuellement dans de bonnes usines à 3,35. C'est au total de 15 à 10 % du sucre entrant à l'usine qui se trouve dans la mélasse.

Les principales applications de la mélasse, en dehors de l'extraction du sucre, par une nouvelle mise en œuvre, à l'aide de procédés spéciaux, sont surtout la fabrication de l'alcool et la nourriture du bétail.

La mélasse traduit par sa variété de composition moyenne d'une année à l'autre pour un même pays les différences de composition de la betterave, ainsi qu'il arrive nécessairement pour un produit naturel ; de plus les différences de travail d'une usine à l'autre se traduisent aussi par des différences sensibles.

Les matières amidées ont des pouvoirs rotatoires très variables et pouvant même changer de signe suivant qu'ils sont déterminés en solution alcaline, neutre ou acide. C'est ce qui explique les différences de polarisation qu'on observe dans les mélasses et qui ont une réelle importance lorsqu'on veut déterminer avec exactitude la composition des produits de sucrerie.

Matières minérales de la mélasse. — Quand la mélasse est employée à la nourriture des animaux la plus grande partie des matières minérales de la mélasse est utilisée comme engrais puisqu'elles se retrouvent dans le fumier.

Quand la mélasse est utilisée à la fabrication de l'alcool les résidus ou vinasses sont traitées en vue d'en retirer les matières minérales. Le produit de la calcination de ces vinasses est le *salin de mélasse*. Il a en moyenne cette composition :

Charbon	3 à 8 %
Matière minérale insoluble	14 à 20
Chlorure de potassium	3 à 5
Sulfate de potasse	9 à 11
Phosphate de potasse	0,20 à 0,10
Carbonate de potasse	53 à 55
Carbonate de soude	5 à 7

La teneur en potasse totale est d'environ 45 %. 100 kilos de mélasse donnent 8 à 9% de salin. Hors bien entendu le cas où il entre des exotiques dans la fonte de la raffinerie dont elle provient, la différence entre la mélasse de raffinerie et la mélasse de sucrerie n'est pas essentielle. On se rendra compte aisément de la modification que l'introduction des sucres de cannes (exotiques) peut introduire dans la composition de la mélasse des raffineries qui ajoutent des exotiques aux sucres de betteraves qu'elles travaillent par la comparaison des compositions respectives des mélasses de cannes et des mélasses de betteraves indiquées ci-dessous très sommairement :

	MÉLASSE DE CANNE	MÉLASSE DE BETTERAVES
Eau	20	20
Saccharose	30	50
Raffinose	0	traces
Sucre interverti	10	traces
Cendres	6	10
Matières organiques	12	20

La mélasse de raffinerie, à égalité de pureté est habituellement plus colorée que la mélasse de sucrerie ce qui est facile à comprendre puisqu'elle renferme en plus grande abondance des produits provenant de l'altération du saccharose et des traces de glucose préexistant dans les sucres bruts sous l'influence de la chaleur et des alcalis.

On y trouve aussi une quantité de raffinose plus élevée, puisque ce sucre s'accumule dans les arrière-produits de la raffinerie. Elle contient aussi en général une quantité modérée de sulfites, tandis que certaines mélasses de sucrerie en contiennent beaucoup lorsqu'elles proviennent de sucreries où on sulfite largement.

Utilisations diverses de la mélasse.

Fourrages mélassés.

L'industrie des fourrages mélassés constitue une annexe fort importante de l'industrie sucrière ; des études nombreuses ont paru sur ce sujet auxquelles nous renvoyons le lecteur. Les points essentiels en sont les suivants que tout technicien de la sucrerie ne doit pas perdre de vue :

Le sucre et les matières organiques non azotées de la mélasse ont une valeur alimentaire élevée et peuvent entrer dans la ration de travail ou d'engraissement jusqu'à concurrence de la quantité que limite la teneur en matières minérales de la mélasse.

En dehors de la valeur alimentaire propre à ces éléments, en raison de leur puissance glycogénique qui est aussi précieuse pour l'animal de travail que pour l'animal en croissance, la mélasse a des propriétés stimulantes de l'appétit des animaux qui sont incontestables, et la rendent particulièrement précieuse pour l'introduction de cet aliment dans la ration des animaux à l'engrais.

Toutefois une certaine accoutumance est nécessaire pour que les animaux l'acceptent.

La mélasse contient des quantités d'azote d'ailleurs variant dans d'assez grandes limites, mais qui sont dues à des formes d'azote bien distinctes au point de vue alimentaire ; l'azote sous forme albuminoïde y est en quantité pratiquement nulle. Dans la fixation du taux minimum d'azote de la ration on ne doit donc pas, semble-t-il, faire état de la teneur en azote des mélasses dont la majeure partie est à l'état d'*amides*. Toutefois une partie de cet azote amidé peut remplacer dans la ration l'azote albuminoïde. Mais des considérations théoriques dépassant le cadre de cet ouvrage seraient nécessaires pour légitimer cette manière de voir, appuyée cependant sur des expériences certaines. La mélasse donc qui ne contient pas de matière albuminoïde, épargne cependant la matière albuminoïde introduite dans la ration par d'autres substances coûteuses et permet de réduire la proportion de celles-ci.

Le décret du 23 juillet 1914, indique les conditions dans lesquelles doit être dénaturée la mélasse pour servir aux usages agricoles dont le principal est l'alimentation du bétail.

(La loi du 5 juillet 1904 indique dans quelles conditions le sucre peut aussi être employé à l'alimentation du bétail avec dégrèvement. Sucres et sirops doivent titrer moins de 95° saccharimétriques et ils sont soumis à une dénaturation avec divers produits plus ou moins judicieusement choisis).

La fabrication des fourrages mélassés se fait soit dans des usines annexes des sucreries soit dans des établissements particuliers (fig. 161). La paille hachée, le son, les coques d'arachides, la mousse de tourbe etc., sont les substances les plus habituellement

employées pour servir de matière absorbante à la mélasse et donner des produits de propriétés et de valeurs assez différentes.

Usages divers.

Les mélasses peuvent encore être employées dans diverses industries. Nous donnons la nomenclature des principales d'entre elles avec l'indication des dénaturations qui sont imposées pour permettre leur emploi en franchise des droits (décret du 16 avril 1910).

1. Aciéries et fonderies. — *a)* Addition à 100 kg. de mélasse de 1 kg. de goudron. — *b)* Mélange intime au sable de noyautage dans la proportion de 10 kg. de sable pour 1 kg. de mélasse (décret du 10 août 1913).

2. Préparation des désincrustants pour chaudières à vapeur. — Addition à 100 kg. de mélasse de 5 kg. de soude caustique à 36° Baumé ou de 5 kg de carbonate de soude.

3. Fabrication du cirage. — *a)* Addition à 100 kg. de mélasse de 10 kg. de noir animal ou de noir minéral. — *b)* Addition à 100 kg. de mélasse de 0 kg, 0625 d'essence de camphre. — *c)* Addition à 100 kg. de mélasse de 1 kg. d'une matière formée par de l'huile de colza et du noir de fumée mélangés dans la proportion de 2 litres d'huile pour 1 kg. de noir.

4. Préparation de teinture à l'indigo. — Addition à 100 kg. de mélasse de 2 kg. de carbonate de soude desséché et titrant de 90 à 92 p. 100 de carbonate pur.

5. Préparation des acétates et formiates de chrome destinés à la teinture et à l'impression des tissus. — Addition à 100 kg. de mélasse de 10 kg. d'acétate de chrome en solution à 20° Baumé.

6. Fabrication de la bière. — Les mélasses sont suivies en compte chez les brasseurs conformément aux dispositions du décret du 30 mai 1899 modifié par le décret du 18 avril 1901.

7. Préparation d'extraits tinctoriaux (mélasse employée pour épaissir et rendre commerciaux les jus de diverses essences de bois de teinture). — Addition à 100 kg. de mélasse de 5 kg. d'extrait de campêche de densité égale ou supérieure à 1.258.

8. Préparation, par les glaciers et pâtisseries, de mélanges réfrigérants en vue de la confection des glaces, sorbets, etc. — Addition à 10 kg. de mélasse de 1 kg. de sel, 5 kg. de peroxyde rouge de fer, 10 kg. de poudre d'absinthe. Le sel est lui-même considéré comme dénaturé et admis, dès lors, à la franchise (décret du 28 mars 1908)

Nous sortirions du cadre de cet ouvrage en décrivant les fabrications de produits chimiques obtenus des mélasses de betteraves par des fermentations particulières ou par distillation sèche suivie de traitements appropriés. Citons seulement la production de l'acétone, de la glycérine, de divers alcools et acides gras, d'une part.

D'autre part on produit en partant des mélasses de betteraves de l'ammoniaque et des amines méthyliques, du chlorure de méthyle et des cyanures.

Extraction du Sucre des Mélasses.
Historique du traitement des Mélasses
par les bases alcalino-terreuses

Un rapide exposé historique semble nécessaire pour bien comprendre quelle a été jusqu'ici en France, la situation de l'industrie sucrière en ce qui concerne l'extraction du sucre des mélasses.

Les sucres extraits des mélasses furent d'abord exempts de tout impôt. La loi du 8 juillet 1871 édicta que les sucres extraits des mélasses par les procédés barytiques seraient assujettis à un droit de 15 francs. La loi du 20 décembre 1872 porta le droit à 25 francs. Les opérations d'extraction cessèrent alors car elles n'étaient plus rémunératrices. Quoique la loi de 1872 fut abrogée par la loi du 3 décembre 1875 les fabriques ne rouvrirent pas. Mais les raffineries qui n'étaient à cette époque soumises à aucun contrôle fiscal restèrent libres d'employer tels procédés qui leur convenaient. La loi du 18 juillet 1884, dont nous avons vu d'autre part les bons effets, mit en faveur les procédés d'osmose et développa les procédés de traitement des mélasses par la chaux. Le développement de ces procédés en même temps qu'il diminuait le rendement de l'impôt privait les distillateurs de mélasses de leur matière première. Ils proposèrent comme palliatif d'accorder pour les mélasses allant à la distillerie une décharge, au compte des produits imposables, équivalente à la moitié de leur richesse saccharine absolue soit 20 à 25 kilos de sucre pour cent kilos de mélasse. Le taux de l'impôt étant alors de 50 frs par cent kilos de sucre cette décharge représentait pour le trésor une perte de 10 à 12 fr, 50 par cent kilos de mélasse, inférieure à la perte de 17 fr, 50 à 20 frs qu'il eut subie si cette mélasse avait été traitée en vue de l'extraction du sucre exempt d'impôts. La proposition des distillateurs fut prise en considération et la loi du 1^{er} juillet 1887 accorda une décharge de 14 % correspondant à une prime de 7 frs. Nouvelle disparition des osmogènes et arrêt des procédés de sucraterie. L'immunité du droit au-dessus du rendement légal assigné aux betteraves perdait d'ailleurs de son importance par le fait des lois qui furent successivement promulguées et qui soumièrent les excédents de rendement aux tarifs de 10, 20, puis 30 frs aux cent

kilos jusqu'à ce que la loi du 8 janvier 1903 imposât la matière pour sa teneur effective en sucre.

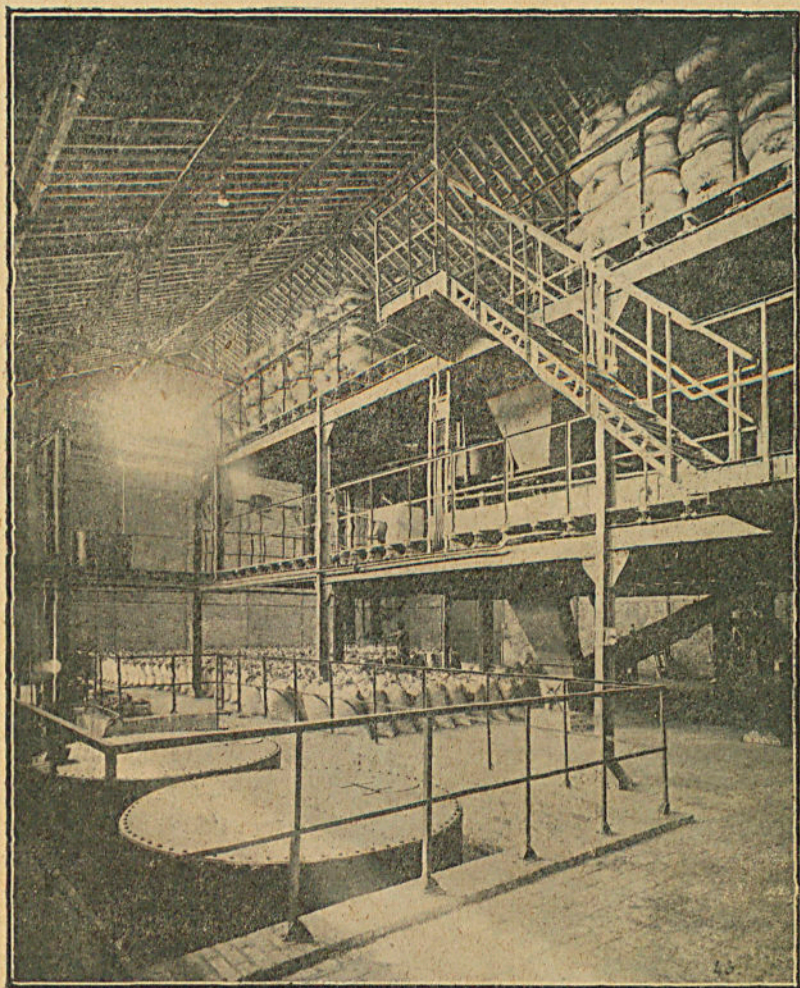


Fig. 161. — Vue d'une fabrique d'aliments mélassés
(Etablissements Séblin, à Seraucourt).

D'autre part des lois (1889, 1893, 1904) soumettaient les raffineries à l'exercice du service des Contributions indirectes; les procédés dont tout l'intérêt était de produire un sucre exempt d'impôt cessèrent d'être appliqués.

Mais la situation se modifia après la guerre : la production de sucre fut déficitaire. L'Etat d'autre part ne sut que faire des alcools d'industrie que la loi du 30 juin 1906 lui fait une obligation d'acquérir. Mieux valait donc extraire le sucre des mélasses que d'en faire de l'alcool.

De nouvelles conditions économiques résultant de l'augmentation considérable de la production modifient singulièrement la situation et ajoutent de nouvelles incertitudes au succès que peut espérer cette intéressante industrie.

Osmose.

C'est le propre d'un certain nombre d'industries de voir des techniques anciennes retrouver des applications après avoir été complètement délaissées ou être tombées dans un grand discrédit. L'industrie sucrière offre des exemples de ces retours au passé que justifient d'importantes modifications dans les conditions économiques. L'osmose semble devoir offrir un de ces exemples. A la vérité, le procédé ne fut jamais complètement abandonné, surtout en Allemagne.

C'est par l'emploi de grands appareils pouvant traiter dix tonnes par jour de mélasse que certains auteurs préconisent l'application du procédé. L'emploi de ces appareils permet d'augmenter de 8 à 10 degrés la pureté des mélasses.

L'osmose présente sur l'application de la sucraterie, dont nous parlons plus loin, le grand avantage de pouvoir se pratiquer avec des installations moins coûteuses, condition très avantageuse, puisque c'est en raison de l'écart entre les prix du sucre et de la mélasse que les procédés d'extraction du sucre de la mélasse sont avantageux et que la durée des situations économiques favorables est fort incertaine. Il est donc utile de pouvoir amortir rapidement le capital engagé.

Extraction du sucre par l'acide acétique.

Le procédé d'extraction du sucre de la mélasse par l'acide acétique de MM. Friedrich et Ratjora présente un intérêt en raison du faible capital engagé, suivant les indications des auteurs.

Ajoutons que ce procédé publié en 1917 par Friedrich (Z. Zucker industrie in Böhmen 1917, p. 614) est une réédition d'un procédé de Johnson datant de 1882 qui indiquait de faire agir le réactif sur des sucres bruts desséchés ou des mélasses concentrées dans le vide. La quantité d'acide nécessaire indiquée par l'auteur était de 50 à 90 % d'acide, concentration elle-même variable suivant la teneur en eau des produits. Prinsen Gørlicgs a obtenu avec cette méthode de bons rendements avec les mélasses de betteraves et de faibles rendements avec les mélasses de cannes.

Les résultats favorables ont été publiés relativement à l'emploi de l'acide acétique. Le prix élevé de ce produit rend l'intérêt économique du procédé sans doute discutable.

Extraction du Sucre des Mélasses par les Sucrates alcalino-terreux.

Procédés à la chaux.

C'est au sucrate tribasique que l'on a généralement recours dans l'extraction des mélasses. Les poids moléculaires du sucre et de la chaux étant respectivement 342 et 168 c'est, en pratique une partie de chaux pour deux parties de sucre qu'il faut employer.

Lair et Billange, en France, eurent recours à la formation de sucrate tribasique en mélangeant la mélasse avec son quart en poids de chaux. La masse solidifiée était séparée non sans de grandes pertes de sucre. Scheibler en Allemagne, en 1865, employa l'alcool, dans le procédé dit *d'éluion*. La masse pâteuse aussi bien desséchée que possible était lavée méthodiquement par l'alcool à 40 %. Cet alcool était ensuite redistillé. La dessiccation de la masse était le point délicat de l'opération qui, malgré les perfectionnements qu'y apportèrent divers inventeurs, demeura toujours assez imparfaite.

Le procédé Manoury également basé sur l'emploi de l'alcool fut appliqué sur une assez grande échelle aux égouts de premier jet.

Tous les procédés basés sur l'emploi de l'alcool durent être abandonnés, en raison de la quantité d'alcool immobilisé, causant nécessairement de grandes pertes pour la récupération. La quantité d'alcool était en effet d'au moins 2,5 fois le volume de mélasse traitée.

C'est à l'emploi de la chaux sans alcool que le succès pouvait être assuré. Le procédé Steffen Drucker, dit de substitution, fut d'abord imaginé. Son principe est le suivant :

En portant à la température d'ébullition une solution de sucrate monocalcique (préparée à froid à l'aide de mélasse diluée à 10 % de sucre), toute la chaux s'unit à un tiers de sucre en présence pour former du sucrate tricalcique insoluble et les deux tiers du sucre sont mis en liberté. En filtrant à chaud, on recueille le sucrate tricalcique, qui peut être traité en vue de l'obtention du sucre qu'il renferme, tandis que le filtrat pourrait être de nouveau chaulé, porté à l'ébullition, filtré pour en extraire une nouvelle quantité de sucre tricalcique, et ainsi de suite jusqu'à réduction à peu près complète du sucre en solution. Mais si, après le premier traitement, on ajoute, en même temps qu'une dose de chaux égale à la première, une quantité de mélasse diluée égale au tiers de la quantité initiale, on aura *substitué* au sucre précipité une quantité équivalente et la liqueur se retrouvera dans les conditions primitives. On pourra faire ainsi des substitutions successives ; le non-sucre s'étant accumulé dans le liquide, on poursuit le travail sans nouvelle addition de mélasse.

On allait jusqu'à une vingtaine de substitutions successives.

Ce procédé eut d'assez importantes applications pendant quelques années, Mais c'est au procédé de la *séparation*, que Steffen inventa ensuite, qu'était réservé le succès définitif.

Le principe est le suivant : le sucre en solutions diluées très froides saturées de chaux forme par addition de chaux vive en poudre impalpable un sucrate tricalcique presque insoluble dans l'eau froide saturée de chaux.

L'insolubilité du sucrate de chaux dans l'eau froide était connu grâce à Rousseau et Leplay depuis 1868. Aucune application n'en fut faite alors. Il fallut les observations de Lippmann faites au cours de l'application du procédé de substitution pour que le procédé de séparation pût être mis sur pied.

Il est appliqué de la manière suivante :

La mélasse est diluée à 12 à 14 degrés Brix. On n'emploie pas l'eau pure pour cette dilution, mais l'eau de lavage du sucrate. La mélasse diluée est amenée dans les séparateurs, qui sont des malaxeurs réfrigérants dans lesquels la température doit être au-dessous de 12°. Ces appareils sont à faisceau tubulaire comme des caïssés d'évaporation, mais leur tube central est pourvu d'un agitateur à hélice provoquant une active circulation de la mélasse qui passe dans les tubes, tandis que l'eau refroidie circule dans l'espace intertubulaire.

La chaux, qui doit être très pure et blutée très finement, est ajoutée peu à peu en évitant l'élévation de température.

Il se forme d'abord du sucrate monobasique, puis du sucrate tribasique.

Lorsque la combinaison du sucre existant avec la chaux introduite est totale, (ce dont on s'assure par prélèvement d'échantillon, filtration et détermination de la densité du liquide filtré) on envoie aux filtres-presses, on lave les gâteaux de sucrate formés avec de l'eau très froide saturée de chaux.

Le procédé est généralement employé dans la sucrerie en travail. Dans ces conditions le sucrate est délayé avec du jus et le lait ainsi obtenu est employé pour la défécation au lieu de lait de chaux. Le sucrate sous l'influence du jus chaud se dédouble immédiatement en chaux et sucre.

Les eaux résiduaires du procédé Steffen peuvent être traitées en vue de la production de potasse. Cette opération a paru présenter un intérêt depuis la guerre, l'Allemagne n'alimentant pas à bas prix en cet engrais le marché américain.

La concentration de ces eaux se fait après la campagne betteravière ; les liquides sont conservés dans de grands réservoirs en béton. L'appareil évaporatoire de la sucrerie est employé à cette concentration. Les eaux étant amenées à consistance sirupeuse sont calcinées. La récupération des matières azotées est réalisée par divers procédés dont l'étude sortirait de notre cadre.

En moyenne par cent kilos de betteraves traitées, les eaux résiduaires contiennent 0, 20 d'azote, 0, 01 d'acide phosphorique et 0, 30 de potasse. L'évaporation de ces eaux, même avec les meilleurs appareils évaporatoires, est fort coûteuse et si le procédé est toujours possible techniquement il y a lieu de faire des réserves quant à sa valeur économique.

Procédé à la Strontiane.

Il y a plus de cinquante ans que le procédé d'extraction du sucre des mélasses par la strontiane est pratiqué dans une raffinerie à Dessau. Institué par Maximilien Fleischer en 1870 alors que l'exemption des droits sur les sucres produits en sucrerie favorisait cette industrie, le procédé a survécu même à l'absence de toute faveur fiscale, à la différence de ce qui s'est produit pour d'autres procédés.

Au total un petit nombre seulement de raffineries emploient encore ce procédé en Allemagne et en Tchécoslovaquie.

C'est dès 1849, que Dubrunfaut étudia la formation de sucrate de strontiane. Leplay continua ses études dont la réalisation industrielle ne put être faite alors en raison de la rareté du produit. C'est la découverte des riches gisements de Westphalie qui permit

avec de grandes difficultés d'ailleurs, l'application du procédé à Dessau.

De même qu'elle est intermédiaire entre la chaux et la baryte pour l'ensemble de ses propriétés, la strontiane tient le milieu entre ces deux autres bases alcalino-terreuses au point de vue de la formation des sucrates. Alors que la chaux forme trois sucrates et la baryte un, la strontiane en forme deux, le bibasique et le tribasique. De même la revivification du carbonate est moins facile que celle du carbonate de chaux, mais plus facile que celle du carbonate de baryte.

Les deux sucrates ont été successivement employés (et brevetés par Scheibler) industriellement, mais seul le procédé à chaud a persisté.

En voici la description sommaire.

On forme une solution à 40 % d'hydrate de strontiane à l'ébullition. Puis on y ajoute la mélasse diluée en quantité assurant la proportion de 2,5 à 3 molécules de strontiane pour une de sucre. Le sucrate bibasique se produit en milieu très fortement alcalin par un excès de strontiane qui est indispensable. La séparation du précipité s'effectue sur des toiles maintenues sur des tôles perforées au-dessous desquelles on fait le vide. Le précipité est lavé plusieurs fois avec une solution d'hydrate de strontiane bouillante.

Quand le produit est bien lavé on le transvase dans des récipients qui sont transportés dans une salle de réfrigération, au-dessous de 10°. Le sucrate se décompose en hydrate de strontiane qui cristallise et en un jus sucré, qui d'ailleurs contient encore de la strontiane en solution. Les cristaux d'hydrate de strontiane sont séparés par turbinage et servent à de nouvelles précipitations de sucrate.

La solution sucrée est envoyée aux chaudières où s'effectue la carbonatation. L'acide carbonique qui y est amené provient des fours à revivification. On envoie aux filtres-presses le jus carbonaté. La solution sucrée est très pure et peut de suite être évaporée.

La difficulté du procédé réside dans la récupération de la strontiane carbonatée.

On moule des briquettes avec le carbonate à régénérer et de la sciure de bois, on les sèche, et on les calcine au rouge blanc dans des fours à laboratoires multiples chauffés avec des gazogènes.

La masse sortie des fours après refroidissement est éteinte et soumise à un lessivage méthodique et on fait cristalliser l'hydrate dissous. On ne parvient pas à épuiser la totalité de la strontiane de cette masse caustique. On doit reporter au four le résidu de l'épuisement puis le lessiver à nouveau. Malgré la multiplicité des opérations la perte en strontiane est encore très notable.

Ce qui élève encore considérablement le prix de revient du produit obtenu par l'application de ce procédé c'est l'importance exceptionnelle des frais d'installation. Seules de très grandes usines travaillant toute l'année peuvent les supporter et le procédé de traitement des mélasses à la strontiane ne peut être appliqué à la sucrerie pour un travail de récupération des mélasses pendant la campagne sucrière.

Procédés à la Baryte.

C'est en 1838 que Péligot découvrit le sucrate de baryte et après de nombreuses études Dubrunfaut et Leplay font breveter son exploitation industrielle en 1849.

Ce qui caractérise la préparation du sucrate de baryte c'est une grande facilité d'exécution. Mais par contre une grande difficulté dans la régénération du carbonate auquel on aboutit. En somme travail d'industrie sucrière facile, travail d'industrie chimique très difficile.

Divers procédés faisant l'objet de nombreux brevets ont vu le jour dans ce domaine où les avantages fiscaux suscitaient les initiatives. Mais les applications furent rares.

Dubrunfaut employait d'abord du sulfure de baryum. Le sulfure de baryum était produit par réduction du sulfate de baryte.

En mettant un excès de sulfure à la solution de sucre, puis ajoutant de la soude caustique, on précipitait le sucre sous forme de sucrate de baryte qui était lavé, pressé et décomposé par un courant d'anhydride sulfureux donnant une solution de sucre très pur dont on éliminait aisément les dernières traces de baryte. Le sulfite de baryte était retransformé en sulfure après lavage et séchage.

Dubrunfaut employa aussi l'hydrate de baryte. Le sucrate était décomposé par l'acide carbonique et le carbonate de baryte calciné avec du charbon.

Le procédé de désucrage des mélasses par la baryte (sulfure et sulfite) fut appliqué par une grande raffinerie parisienne malgré de sérieuses difficultés de revivification qui rendaient le procédé impossible quand le mode de perception de l'impôt ne laissait pas une grande marge de bénéfices.

Le procédé Langen, au sulfure de baryum et à la baryte, eut aussi une existence éphémère. Il consistait à traiter la mélasse par le mélange d'hydrate et de sulfure ; il se formait un sucrate et l'eau-mère renfermait un sulfhydrate. Celui-ci était décomposé par l'acide carbonique qui déplaçait l'hydrogène sulfuré qu'on recueillait dans un gazogène et brûlait dans un four.

L'extraction du sucre des mélasses par la baryte s'est récemment développée en Italie ce qui s'explique aisément parce que l'énergie électrique fournie par les chutes d'eau des Alpes à très bas prix permet une fabrication économique de la baryte employée ; celle-ci se fait en effet au four électrique.

La baryte est produite en partant du carbonate et exige au four électrique 150 kw heure pour 100 kgs de baryte. Il en faut environ le double pour produire 100 kgs de sulfure de baryum en traitant le sulfate de baryum par le charbon. D'ailleurs on n'emploie pas indifféremment l'un ou l'autre produit pour traiter les mélasses, on obtient des produits sensiblement plus purs par l'emploi de la baryte que par l'emploi du sulfure.

Bien entendu on n'effectue jamais le désucrage avec du sulfure pur, celui-ci n'est employé que pour compenser les pertes en baryte qu'on emploie après récupération.

Procédé Manoury.

Les procédés de séparation du sucre des mélasses sous forme de sucrate alcalino-terreux ont un renouveau d'actualité. M. Manoury qui fit en 1880 avec M. de Grobert des essais sur l'emploi de la baryte y est revenu récemment (H. Manoury et Dugottier, Brevet français 560.166, 21 mars 1922).

La régénération de la baryte se fait par voie humide en passant par le sulfate de zinc et finalement on obtient un produit marchand, le *lithopone*, mélange de sulfure de zinc et de sulfate de baryte.



SEPTIÈME PARTIE

FRAIS DE PRODUCTION - RAFFINAGE

CHAPITRE PREMIER

DÉPENSES D'INSTALLATION ET D'EXPLOITATION

Généralités.

Dans leur rapport au Congrès du Génie Civil de 1918 MM. de Grobert et>Listre étudient les divers types d'usines qu'on peut envisager au point de vue de leur production économique.

Cette étude venait bien à son heure au moment où se posait le grave et délicat problème de la reconstruction des sucreries détruites par la guerre. Les auteurs de ce rapport rappellent que de 1884 à 1914 le nombre des sucreries était tombé de 450 à 206, il y a eu là comme une sélection qui permet de penser que les usines qui ont résisté étaient dans des situations favorables et qu'ainsi on peut sans doute fixer les conditions que doivent remplir les usines pour avoir une valeur réelle. Ils ont cherché si les grandes usines sont plus avantageuses que les petites ou les moyennes.

Les auteurs, en vue d'effectuer cette détermination, classent les sucreries de betteraves en 4 types suivant la quantité de betteraves travaillées par 24 heures:

1° : 300 tonnes de betteraves. 2° : 600 tonnes. 3° : 1000 tonnes. 4° : 2000 tonnes. Ils supposent, pour établir une comparaison, que les usines sont également bien installées au point de vue du matériel de production de vapeur, extraction des jus etc., et qu'elles sont également bien approvisionnées pour un travail de 75 à 80 jours.

Les frais de fabrication comprennent d'abord les postes suivants : Prix d'achat de la betterave.

Dépenses pour objets de consommation à savoir : charbons, coques, pierre à chaux, courroies, huiles, couteaux, serviettes, sacs, etc.

Ces dépenses sont proportionnellement les mêmes pour les divers types d'usine. Par contre, les autres dépenses sont variables suivant les types d'usine. MM. de Grobert et Listre les classent dans le tableau ci-dessous dans lequel ils ont fait figurer les chiffres correspondants selon eux à chaque cas :

Usine travaillant journallement	300 tonnes	600 tonnes	1000 tonnes	2000 tonnes
Frais d'approche..	2,70	3,30	4,00	4,25
Aliment. et cour..	0,80	0,70	0,60	0,50
Salaires fabricat..	1,50	1,05	0,90	0,80
Entretien.....	2,50	1,90	1,50	1,40
Frais généraux....	3,00	2,00	1,60	1,50
Retour des pulpes.	0,00	0,80	0,80	1,00
	10,50	9,45	9,40	9,45

Il s'agit bien entendu de chiffres approximatifs et de prix d'avant la guerre. Les auteurs estiment que ces chiffres doivent conserver après la guerre leur valeur relative.

On voit que dans l'usine de 300 tonnes le travail coûte 7,80 au lieu de 4,20 dans l'usine de 2.000 tonnes. Mais il y a une contrepartie en faveur de l'usine de 300 tonnes en ce qui concerne les frais d'approvisionnement. Pour celle-ci en effet l'approvisionnement des 27.000 tonnes nécessaires se fera dans un rayon restreint, les pulpes seront prises en retour, sans frais, par les cultivateurs. Les 150.000 tonnes de betteraves nécessaires à la grande usine, sans compter la terre adhérente, et les pulpes à expédier, exigeront des frais de transport énormes car il faudra leur faire subir un long trajet. Au total la grande usine n'est avantagée que de 9 fr, 45 à 10 fr, 50 soit environ 1 franc par tonne.

Les auteurs estiment que la question change si on a recours à l'emploi de râperies, c'est-à-dire d'usines annexes qui effectuent le râpage et la diffusion et envoient le jus à la centrale. Car les frais de fabrication sont réduits comme à la grande usine tandis que les frais d'approche se maintiennent bas comme à la petite.

Mais les avantages de la grande usine qui utiliserait des sécheresses de cossettes sont bien plus caractérisés.

Valeur du matériel de sucrerie.

Il est fort difficile de donner des indications précises sur les prix des appareils industriels et de fixer même approximativement la valeur du matériel de sucrerie. Les sucreries que la destruction par la guerre a détruites en si grand nombre et qui ont été reconstruites l'ont été le plus souvent dans des conditions particulièrement anormales quant aux prix, la reconstitution ayant été faite à des époques fort troublées au point de vue économique.

D'autre part les usines anciennes ont habituellement un matériel qui a subi des transformations diverses selon le désir que les fabricants ont eu à diverses époques de réaliser des augmentations de rendement ou des économies sans procéder à des remaniements trop nombreux. La plupart des sucreries ne présentent pas un équilibre parfait au point de vue du matériel, c'est-à-dire que certains postes sont trop largement dotés alors que d'autres sont plus ou moins insuffisants pour la production demandée à l'usine.

Lorsque la puissance de production des divers ateliers correspond exactement à la capacité de production totale, les valeurs respectives des différentes parties du matériel correspondent sensiblement aux pourcentages suivants d'après un tableau dressé par M. Hélot et adopté par le Comité technique des dommages de Guerre du Département du Nord. Sans qu'on doive certes attacher une valeur absolue à ces chiffres ils donnent assez exactement une idée d'ensemble. On voit de suite, en l'examinant, quels sont les chapitres sur lesquels il est important de réaliser des progrès au point de vue de la diminution des frais d'installation.

	Pourcentage
Lavage	2,921
Diffusion et pulpes, séchage.....	15,700
Chaulage et carbonatations	9,115
Sulfitation.....	0,917
Evaporation et réchauffeurs.....	20,090
Filtration.....	8,514
Cuites	5,711
Malaxages	9,988
Turbinages	5,490
Force motrice	8,090
Générateurs	13,464
	<hr/>
	100,000

C'est surtout en ce qui concerne les installations accessoires, qui ont en sucrerie une si grande importance que la valeur du capital engagé est très variable suivant les dispositions locales, la proximité d'une ville importante, etc. Ces installations comprennent les voies de chemins de fer, les transporteurs hydrauliques, les bascules, les appareils de déchargement, les ateliers d'entretien, etc.

Le matériel qui est directement employé à la fabrication du sucre, y compris les installations de production de vapeur et de force motrice et généralement désigné sous le nom de matériel spécialisé (correspondant d'ailleurs aux rubriques du tableau ci-dessus) avait en 1914 une valeur moyenne variant bien entendu avec la capacité de production de l'usine allant de 2.600 frs pour les très petites usines de 300 tonnes à 2.000 frs pour les grandes de 1.200 tonnes.

Dans ces chiffres sont compris, en dehors du prix d'achat des machines ou appareils, ce qu'on appelle les « généralités », c'est-à-dire les dépenses pour installations de tuyauteries reliant les appareils entre eux, les frais de montage, de transport etc. Ces diverses valeurs, variables, bien entendu avec les conditions locales et les dispositions générales de l'usine, ont été habituellement fixées ainsi :

Tuyauteries diverses avec leurs robinets soupapes	8 à 10 %
Transmissions	3 à 4
Courroies	2 à 3
Montage	6 à 8
Transports	3 à 5
Installations électriques	1 à 2
Peinture et calorifuge	1 à 3

En moyenne les frais d'achat de terrain, terrassements, bâtiments de l'usine et constructions annexes, voies de chemins de fer, etc., doublent cette somme. On a, en chiffres très arrondis, une somme de 4.000 frs par tonne de betteraves travaillées par 24 heures, en valeur 1914, sans compter le fond de roulement comme valeur du capital engagé.

Frais de Fabrication.

On observe d'assez grandes variations dans les éléments du prix de revient suivant les conditions d'approvisionnement des betteraves — qui influent si largement sur le prix de la matière

rendue à l'usine — les modes de fabrication, le genre de production (blanc ou roux) etc., pour une époque déterminée. Les variations récentes de tous les prix, l'augmentation des charges diverses rendent plus difficiles encore une évaluation de prix de revient pouvant échapper aux critiques. Nous donnons à titre d'indication générale le tableau suivant pour la période plus stable d'avant-guerre qui représente, une moyenne d'usine de 500 tonnes. On pourra aisément passer de ces prix de base aux prix actuels connaissant le coefficient dont chacun d'eux doit être affecté en un lieu et à une époque données :

Prix d'avant-guerre (non compris charges financières) :

	à la tonne de betteraves frs.	aux cent kilos de sucre	pourcentage
Achat de la betterave	26,64	30,38	77,33
Frais de bascule..	0,76		
Manutention ..	0,90		
Transport et divers. .	2,08		
Charbon	1,29.....	1,06	3,29
Coke	0,33.....	0,27	0,84
Toiles et sacs..	0,84.....	0,70	2,18
Pierre à chaux	0,22.....	0,18	0,55
Fournitures et produits divers	0,14.....	0,11	0,34
Entretien réparations	3,41.....	2,81	9,73
Main-d'œuvre....	1,26.....	1,03	3,20
Impôts et assurances	0,54.....	0,44	1,36
Frais généraux.	0,85.....	0,70	2,18
Total.	39,26	32,19	100,00

Ces chiffres correspondent à des frais de fabrication de 12 fr, 62 par tonne de betteraves ; des statistiques indiquent d'autre part les chiffres de 12 fr, 34 en 1910-11, 12 fr, 48 en 1912-13.

La considération des pourcentages est surtout instructive. Elle montre l'importance relative des divers chapitres et souligne ceux qui doivent retenir l'attention. On voit notamment combien est à désirer toute simplification du matériel, et combien est grande la dépense de toiles (proportionnellement très augmentée avec les prix actuels). On voit aussi le prix élevé de la carbonatation du seul fait de la dépense de pierre à chaux et de coke.

Main-d'œuvre. — On peut compter actuellement en France, en se basant sur les statistiques générales, que le travail d'un ouvrier correspond à 2.200 k de betteraves par 24 heures.

Les statistiques récentes indiquent des chiffres allant sans

cesse en augmentant pour les dernières campagnes (2500, 2500, et 3080 kilogs).

Il est intéressant de rappeler qu'en 1870 Walkhoff indiquait pour une usine de 50 tonnes par jour, 180 ouvriers : chacun d'eux effectuait donc le travail de 280 kilos de betteraves. Toutefois il reste encore beaucoup à faire dans la voie de l'économie de main-d'œuvre et surtout dans le sens du remplacement du travail sale et pénible par un travail propre et facile.

Dans les usines européennes on compte en moyenne deux heures d'homme par sac de sucre produit ; les usines de la Great Western Sugar Cy sont, dit-on, arrivées à une moyenne de 36 minutes.

Les prix indiqués ci-dessus ne comportent pas les charges financières qui entrent dans une si forte proportion dans l'établissement des prix de revient à la tonne de betteraves travaillées. Il importe de souligner que celles-ci, de même qu'une importante partie des frais généraux, sont fixes, indépendantes du tonnage produit.

Si nous examinons un cas concret représentant assez bien une moyenne de grande usine bien située et marchant rationnellement nous pourrons ainsi résumer les divers éléments du prix de revient par tonne de betteraves travaillée pour une production moyenne égale à 90 jours de travail à plein.

	A la tonne	Pourcentage des dépenses
Prix des betteraves.....	175	55,91 %
Dépenses de fabrications et de frais généraux proportionnels à la production	60	19,17
Frais généraux fixes	35	11,18
Intérêt du Capital	20	6,39
Amortissements.....	23	7,34
	313	100,00

En somme le quart des dépenses représente une charge fixe qui est la même quelle que soit la production et les dépenses sur lesquelles peut agir le fabricant ne représentent que 20 % de ces dépenses ; certes la réduction des dépenses de n'importe quel ordre représente un intérêt économique certain, mais on voit que c'est surtout vers l'augmentation de la production de l'usine qu'on doit s'orienter pour répartir l'énorme proportion des frais fixes sur un plus gros tonnage.

L'avenir de l'industrie qui nous occupe est donc particulièrement lié au développement de la consommation du sucre.

Nous nous sommes efforcés de donner au présent ouvrage un caractère objectif et nous sommes abstenus de toutes critiques. Nous pouvons cependant nous demander si les fabricants français ont fait les efforts de propagande et de publicité nécessaires pour développer la consommation du sucre. Les succès dans cette voie leur seraient profitables certes, mais ils le seraient plus encore à toute la population dont les éléments les plus instruits même sont encore dans une extraordinaire ignorance de l'intérêt économique et hygiénique que représente une augmentation de la consommation du sucre.

CHAPITRE II

RAFFINAGE DU SUCRE

Généralités.

Certaines fabriques de sucre bien installées peuvent produire une partie de leur fabrication sous forme d'un sucre en grains parfaitement blancs de très bel aspect. Ce sucre offre au point de vue de la consommation directe toutes les garanties possibles. On peut dire qu'un nouveau traitement industriel est pratiquement incapable de purifier un tel sucre. Toutes les fabriques ne font pas d'ailleurs un aussi beau produit ; cependant une grande partie du sucre qui pourrait être consommé en nature est livré à la raffinerie.

En France, une habitude à laquelle le consommateur semble indéfectiblement attaché fait apprécier le sucre en morceaux à l'exclusion du cristallisé le plus pur. Cependant bien souvent des sucres en morceaux sont sensiblement moins purs que les beaux cristallisés. Ceux-ci s'obtiennent d'ailleurs dans des conditions plus économiques en raison de la technique plus simple qui permet de les produire ; les opérations de turbinage sont plus faciles et celles du sciage et du cassage sont supprimées.

Certaines personnes prétendent que l'emploi du sucre en grains évite le gaspillage, en permettant plus aisément le dosage de la quantité qu'on désire employer.

C'est là une question assez discutable : l'emploi du sucre en morceaux, de manipulation facile par le consommateur, permet, si on veut, une consommation sans perte. Le plus important pour le consommateur au point de vue de la bonne utilisation de la marchandise qu'il achète est que la dissolution soit facile pour qu'il

n'en reste pas une quantité importante au fond du verre ou de la tasse. Cela est surtout essentiel lorsque le sucre est employé au sucrage d'une boisson à température peu élevée.

A ce point de vue un avantage incontestable appartient au sucre formé de grains cristallisés de petite dimension — qui ainsi présentent pour un même poids de sucre une grande surface — ce qui est le cas du raffiné en morceaux de qualité courante. Mais encore faut-il que ces grains ne soient pas agglomérés en un bloc trop compact qui ne se délaye pas promptement dans la tasse.

Mais s'il est certainement logique de livrer à la consommation, pour une part importante du moins, le sucre sous forme de raffiné aussi pur que possible en morceaux réguliers et soigneusement emballés, il est moins facile de savoir s'il est logique que la mise sous cette forme soit l'objet d'une industrie particulière pratiquée en dehors de la sucrerie ou si elle doit être annexée à la sucrerie proprement dite. On peut souhaiter que le raffinage du sucre ne se pratique pas seulement dans un très petit nombre d'établissements.

Cependant il est parfaitement rationnel que la sucrerie cherche surtout à faire un produit qui soit rapidement transportable, dût-il contenir une quantité notable de sucre sous forme de mélasse adhérent à son cristal. Mais bien entendu il importe que cette mélasse soit payée à sa valeur, sinon le fabricant de sucre a intérêt à produire un grain ne contenant pas de sucre sous forme de mélasse, fût-ce au prix d'une complication dans sa fabrication et de l'élévation de son prix de revient.

Le raffinage du sucre pour être économique doit forcément être pratiqué dans de grandes usines ; aucune considération relative aux difficultés d'approvisionnement ne vient, comme pour la sucrerie, en limiter la capacité rationnelle.

Dans les achats de sucre pour la raffinerie on ne s'inquiète habituellement pas de leur valeur industrielle, c'est-à-dire du rendement réel du sucre extractible et de la facilité de production du raffiné.

L'analyse officielle en vue de l'établissement des droits de douane ou de régie ne renseigne pas plus que les analyses commerciales. On ne détermine en effet que la polarisation, le glucose et les cendres; le rendement en raffiné est déduit de la polarisation

directe en retranchant deux fois le glucose et quatre fois la cendre. Ce sont là des données empiriques sans nulle valeur technique.

Il semblerait plus logique de procéder à quelques essais ayant un rapport direct avec la valeur des sucres au point de vue du raffinage. Dans un article du Journal des Fabricants de sucre du 12 février 1919, M. R. Teyssier, a appelé l'attention sur cette question, notamment en ce qui concerne la grosseur des cristaux qui pourrait faire l'objet d'une détermination méthodique.

La facilité du travail d'affinage dépend pour une grande part de la régularité des grains et de la netteté de leurs arêtes.

Enfin ce qui importe surtout c'est de savoir si les impuretés sont dans la masse des cristaux ou si elles sont extérieures à ces cristaux ; dans l'un ou l'autre cas le rendement en raffiné est bien différent. L'auteur précité préconise un *essai d'affinage* qu'il décrit ainsi :

On mélange 100 gr. de sucre brut avec 45 cc. d'eau distillée, on remue 10 minutes jusqu'à saturation, on abandonne la solution : on prend alors 92 cc. de cette solution et on la fait passer sur 200 gr. de sucre brut, on brasse bien le tout et on le fait passer sous une petite turbine de laboratoire, on essore pendant deux minutes afin de chasser l'égout, puis on retire le sucre ainsi affiné. Il doit être à peu près sec. On détermine son poids en pesant le panier dont on connaît la tare. Le sucre enlevé du panier est séché 12 heures à 98° C. dans une étuve à air et enfin polarisé. Un sucre brut de 1^{er} jet normal doit polariser 99°4 ; ceci correspond à la pureté des cristaux du sucre lessivé. Actuellement les sucres bruts de 1^{er} jet qui constituent la majorité des approvisionnements ont une pureté minimum de 99°.

Si on lessive un sucre brut ordinaire à 96°, l'égout mère de lessivage aura une pureté comprise entre 75 et 80.

La couleur n'est pas un bon critérium de la véritable valeur des sucres bruts pour la raison ci-dessus indiquée. Cependant on peut dire que les sucres gris sont assez difficiles à décolorer tandis que ceux qui ont une nuance jaune sont plus sensibles à l'action du noir.

Des essais techniques relatifs à la facilité de filtration doivent aussi être entrepris selon les judicieuses indications de M. Teyssier.

Il est vrai que les difficultés à la filtration pendant le raffinage du sucre viennent surtout des sucres de canne et ainsi sont en dehors de notre sujet. Cependant des quantités extrêmement faibles de substances insolubles minérales (silice gélatineuse) ou organiques (matières pectiques) opposent un obstacle à la filtration et diminuent le rendement des filtres au point d'apporter

une gêne au travail si on ne les englobe pas dans un précipité volumineux qui soit de filtration facile, c'est-à-dire aisément retenu par les toiles des filtres.

Les méthodes de travail en raffinerie.

Méthodes anciennes. — L'industrie du raffinage du sucre est fort ancienne et se pratiqua longtemps dans de très petites usines très nombreuses et assez diversement réparties, jusqu'à la dernière moitié du siècle dernier où elles se concentrèrent en un petit nombre de mains. Autrefois le raffinage se pratiquait en *fondant* c'est-à-dire en dissolvant dans l'eau la totalité du sucre plus ou moins impur entrant dans la raffinerie. De la *fonte* ainsi obtenue on éliminait par la *clarification* diverses matières en ajoutant du sang qui après chauffage, en se coagulant, formait une masse spongieuse insoluble entraînant des impuretés. On employait parfois du sang desséché. Ajoutons en passant qu'on emploie encore parfois ce procédé avec des sucres exotiques contenant des substances colloïdes de séparation mécanique difficile. Les sucres relativement purs étaient traités par du phosphate acide de chaux ou par un mélange de ce produit avec du noir en poudre. La masse était chauffée dans des chaudières de cuivre, puis filtrée sur du noir en grains. Le sirop plus ou moins décoloré était concentré jusqu'à cristallisation et formation d'une masse cuite coulée dans des *formes* coniques en tôle donnant la forme classique « pain de sucre » à la masse qui s'y moulait en refroidissant.

Les formes emplies (dans l'atelier dit *empli*) étaient alors portées dans les *greniers* où on les disposait sur des planchers perforés, la pointe en bas. Ladite pointe de la forme était percée d'un trou obturé pendant l'emplissage par un bouchon de bois qu'on enlevait alors pour permettre l'écoulement de l'eau mère. Une partie seulement s'écoulait alors ; on déplaçait ensuite le liquide restant par une série de *clairces*, sirops de plus en plus purs. On obtenait des raffinés très blancs par l'emploi, pour finir, d'une *clairce* très pure. Cependant tous les raffineurs n'y parvenaient pas et de grandes différences s'établissaient aux yeux des consommateurs entre les diverses marques.

Les sirops qui s'écoulaient par simple égouttage étaient dits *sirops verts*, puis ceux qui s'écoulaient après addition de *clairce* étaient dits *sirops couverts*. La partie supérieure évasée de la forme durcissait par cristallisation de la *clairce* à la surface. Il fallait casser les croûtes qui s'y formaient avant d'ajouter une nouvelle *clairce*. Le déplacement de la totalité du sirop vert ne s'effectuait pas toujours dans la masse du pain aux cristaux souvent irréguliers, d'où des marbrures donnant lieu à beaucoup de déchets qui devaient être refondus.

Lorsque les dernières parties de la *clairce* la plus pure étaient écoulées (ce qu'on facilitait par la suction par le vide) les pains étant suffisamment secs leur base ou *patte* était nettoyée et débarrassée des parties dures qui s'y étaient formées. Cette opération se nommait *plamotage*. Les pains étaient alors *lochés*, c'est-à-dire sortis des formes ; ils constituaient les *pains verts* qu'on portait alors à l'étuve maintenue à une température de 50 à 55°. Ils y séjournaient de 6 à 10 jours avant d'être habillés, c'est-à-dire enveloppés de papier pour être livrés à la consommation.

Les sirops écoulés des pains étaient recuits et formaient une nouvelle masse cuite, moins pure, donnant lieu à la production de produits inférieurs dits *lumps* et *batardes* ou de sucres en poudre plus ou moins colorés dits *vergeoises* ou farines.

Les manutentions de la masse cuite chaude dans les emplis surtout avant la réalisation de l'empli mécanique et des pains dans les greniers constituaient

un travail extraordinairement pénible dont l'industrie moderne n'a heureusement conservé que le souvenir.

La fabrication des pains a persisté jusqu'en ces dernières années, quoiqu'elle était fort peu appropriée à la fabrication des morceaux de sucre cassé à la mécanique, même lorsque des méthodes modernes de raffinage furent appliquées.

Méthodes actuelles. — Le principe fondamental du raffinage est aujourd'hui le suivant :

On procède d'abord à l'*affinage* qui a pour but de séparer l'eau-mère qui se trouve autour des grains de sucre brut. On augmente ainsi considérablement la pureté du sucre qui donne alors une fonte beaucoup plus pure que celle qu'on obtiendrait en fondant directement le sucre brut. On traite à part l'eau-mère déplacée, dont on extrait le sucre par les moyens que nous verrons plus loin.

La fonte est ensuite filtrée et décolorée plus ou moins complètement, et donne un sirop qu'on cuit, pour former une masse cuite, travaillée de diverses manières.

L'eau-mère de cette masse cuite est déplacée par une série de clairces successivement ajoutées. On prépare ces clairces en choisissant les sucres originairement les plus purs ou les mieux affinés, pour en faire une fonte plus pure que celle qui sert à faire la masse cuite ; on a ainsi finalement un sucre raffiné presque chimiquement pur. Les impuretés s'accumulent dans les égouts dont on tire une nouvelle cristallisation de raffiné, puis qu'on évacue sous forme de mélasse.

Affinage.

L'affinage est une opération fort importante en raffinerie car c'est d'elle que dépend pour une grande part la marche économique de la suite des opérations. L'affinage consiste à déplacer l'eau-mère ou mélasse qui est restée autour du grain ; c'est la suite du travail de la sucrerie.

En principe, on effectue l'affinage en délayant le sucre brut dans un sirop saturé dont la pureté se rapproche de celle de la mélasse qui entoure le sucre, de manière qu'il ne puisse dissoudre le sucre mais déplace seulement l'eau-mère.

Lorsque les impuretés des sucres bruts sont presque entièrement localisées dans l'eau-mère qui entoure le grain, l'affinage donne un produit très enrichi. Au contraire avec des sucres dont

les impuretés se trouvent en grande proportion dans le grain lui-même, par suite d'un travail en sucrerie avec des sirops mal épurés, les produits de l'affinage restent colorés. Les opérations ultérieures du raffinage sont alors rendues plus difficiles.

La séparation s'effectue dans des turbines de types divers notamment la turbine Weinrich, qui n'ont point de caractère nettement différent de celles employées en sucrerie.

En 1887 Carl Steffen fit breveter le procédé de lessivage qui porte son nom pour remplacer le procédé des turbines. Les sucres bruts qu'on veut débarrasser de leur eau-mère sont chargés sur des wagons appelés *nutsches* portant un double fond de manière à ce qu'on puisse faire le vide au-dessous de la masse supportée par une tôle perforée sur laquelle est appliquée une toile métallique.

Les wagons sont réunis par groupes sur deux voies parallèles et constituent une batterie pouvant travailler à la fois un lot fort important de sucre. Des nochères circulent au-dessus de ces wagons et un dispositif particulier permet de faire écouler en même temps sur chacun des wagons le même volume d'un même sirop d'affinage qui circule dans la nochère.

Le sirop ajouté s'écoule peu à peu à travers la masse de grande surface et relativement peu profonde du sucre en traitement, sous l'action de la seule pesanteur favorisée par l'emploi d'un faible vide ensuite. Ce sirop, avec la matière qu'il a déplacée s'écoule peu à peu et est pompé à la partie supérieure du bâtiment dans une série de bacs ou cellules. Chacune de ces cellules a précisément le volume de ce qu'on répartit de sirop à chaque opération sur l'ensemble de la batterie.

A chaque batterie correspond un nombre de ces cellules un peu supérieur au nombre de lessivages que l'on a coutume de faire subir au sucre traité.

L'installation nécessitée par le procédé Steffen de lavage de masses cuites (en bâtiments, pompes, tuyauteries, bacs, *nutsches*, etc.) est considérable.

Ce matériel est d'ailleurs assez robuste et, bien entretenu, est durable. L'immobilisation du sucre, sous forme de sirops surtout, qui ne sont pas toujours exempts d'altération, n'est pas négligeable.

Il n'est pas établi, a priori, malgré le caractère logique et

élégant du procédé qu'il est plus économique que l'affinage avec des appareils centrifuges modernes de grand rendement.

Des théories ont été émises suivant lesquelles le lessivage des sucres bruts par le procédé en question donnait directement de la mélasse épuisée. En réalité il est nécessaire pour arriver à la mélasse de faire avec les égouts sortis des nutsches de lavage des sucres bruts un certain nombre de cuites, qui ne vont pas sans dépense de vapeur, bien au-delà de ce dont dispose l'usine en vapeur d'échappement.

La conduite du procédé Steffen est délicate et nécessite pour l'obtention de résultats économiques un contrôle chimique assez rigoureux. Le choix des sirops de lavage dont la pureté doit se rapprocher aussi exactement que possible de la pureté de l'eau-mère des sucres à lessiver et qui doivent être saturés, est le point essentiel. En réalité il est assez difficile de connaître la pureté de l'eau-mère d'un sucre brut ; celle-ci n'a pas une composition bien définie. Elle est en effet à l'état de couche extrêmement mince à la surface du cristal, ou plus exactement sous forme de couches successives de composition variable depuis la partie qui est au contact du cristal et qui a vraisemblablement la pureté même du cristal, jusqu'à celle qui est à la partie externe et qui a la pureté qu'avait l'eau-mère dans la masse au moment du turbinage.

Les derniers sirops de lavage sont pour ainsi dire des solutions de sucre pur.

On finit généralement le *clairçage* des nutsches avec de l'eau pour enlever les dernières parties des sirops ajoutés avant d'envoyer les nutsches lavées à la fonte.

Le déchargement des sucres des nutsches se fait en basculant celles-ci au-dessus d'une trémie qui communique avec la chaudière de fonte.

Production de la Fonte.

On fait fondre les sucres après affinage dans une chaudière à agitateur dans laquelle on fait arriver les eaux de dégraissage pour récupérer le sucre qu'elles contiennent.

On fond d'autre part directement des beaux sucres blancs qui n'ont pas besoin d'être affinés puisqu'ils sont aussi purs que

possible, de manière à avoir une fonte moyenne suffisamment pure ayant plus de 99 de pureté et pouvant donner par conséquent par cristallisation un raffiné très pur.

Traitement de la fonte.

La fonte contient encore diverses impuretés qu'il faut éliminer et surtout des corps étrangers, débris de sacs, etc, dont il faut la

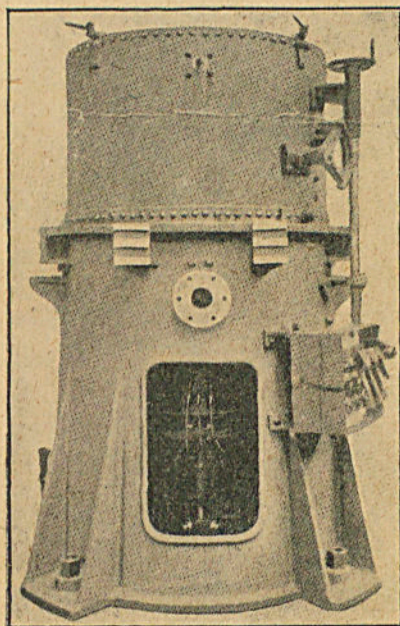


Fig. 162. — Turbine Adant (Mollet-Fontaine).

débarrasser. D'autre part dans les chaudières où on a fait la fonte, la dissolution du sucre ajouté n'est pas totale en raison de la température insuffisante. Il faut terminer cette dissolution en chauffant et en agitant. C'est dans la chaudière où on effectue ce chauffage qu'on ajoute, de la chaux pour alcaliniser les produits et en assurer la conservation.

Ce chauffage qui s'effectuait autrefois avec du sang destiné à clarifier la fonte se pratique dans des appareils dits *appareils*

à *clarifier* qui sont le plus souvent réduits au rôle de simple réchauffage.

Il est essentiel de ne produire que des sirops et des clairces au degré de saturation convenable. Des sirops non saturés s'altéreraient par la suite du travail.

Le sirop provenant de la fonte est soumis aux filtrations suivantes :

1^o Débourage au filtre presse qui retient les plus grosses impuretés insolubles ; 2^o passage au filtre Philippe qui continue l'épuration mécanique ; 3^o passage au filtre à noir.

En dehors de la décoloration que produit l'action du noir celui-ci constitue une filtration mécanique complémentaire qui n'est pas négligeable.

Revivification du noir animal.

Le noir en grains effectue un travail très faible ; après l'absorption d'une très minime quantité de matière colorante il est devenu inapte à assurer la décoloration parfaite qu'on lui demande pour produire de très belles clairces et il est nécessaire de le revivifier pour qu'il puisse être utilisé à nouveau. La revivification est donc au total une opération importante du raffinage tel qu'on le pratique encore dans beaucoup de raffineries.

Cette revivification comporte d'abord un lavage qui s'effectue soit à l'eau pure soit avec l'eau additionnée de soude. Cette dernière pratique tend d'ailleurs à disparaître et le lavage à l'eau pure est suffisant et altère moins le noir. On a parfois employé l'eau acidulée qui est moins recommandable encore. Le lavage est bien entendu précédé d'un *dégraissage* du noir aussi complet que possible pour enlever le sucre dont il est imprégné au sortir du filtre.

Le lavage a pour effet non seulement d'enlever au noir une certaine quantité de matières organiques provenant des sirops décolorés mais encore une partie de la chaux qui a été fixée par le noir et enlevée aux clairces plus ou moins alcalinisées par cette substance. De plus le lavage enlève les particules fines de noir qui se détachent peu à peu des grains et constituent une perte importante.

Le noir est lavé dans des cylindres munis de tôles perforées

dans lesquelles on fait arriver de l'eau sous pression. Après égouttage le noir est conduit dans les fours qui sont de divers systèmes plus ou moins perfectionnés en ce qui concerne l'automatisme des manutentions. Ce sont dans les grandes raffineries de grosses installations qui comportent l'immobilisation d'un très important matériel et d'une grande masse de marchandise.

En principe les fours à noir comprennent une série de cornues verticales à la partie supérieure desquelles on introduit le noir à revivifier. Ces cornues en fonte sont encastrées dans un four dont le foyer est chauffé au coke. Elles communiquent avec une cheminée par où se dégage la vapeur d'eau et les produits provenant de l'action de la chaleur sur les matières organiques restant dans le noir.

Bien entendu le chauffage doit être effectué à l'abri de l'air.

Quoique ce soit surtout par la porosité, qui est sa caractéristique, que le noir agit, le carbone, dont il contient environ 11 % est encore le plus actif de ses constituants. La température à laquelle le noir est soumis n'atteint généralement pas le rouge ; elle est suffisante pour que les matières organiques soient détruites. Lorsque la température convenable est dépassée le noir a un pouvoir décolorant atténué. Il en est de même lorsque celle-ci n'est pas atteinte et de plus le noir communique à la claire une odeur particulièrement désagréable qui peut demeurer dans le raffiné.

Le noir qui sort des cornues doit être refroidi. On emploie à cet effet une colonne dans laquelle le produit descend lentement. Dans le four Buchanaan, le refroidissement du noir se produit dans des refroidisseurs formés de sortes de gouttières dans lesquelles se répartit le noir à la sortie de la cornue et qui sont animées d'un mouvement de rotation qui leur est communiqué par un mécanisme assez compliqué.

On ajoute de temps en temps une certaine quantité de noir neuf pour compenser la perte au lavage dont nous avons parlé ci-dessus.

Il est bon d'effectuer de fréquents essais de contrôle de la bonne revivification du noir. Ceux-ci se pratiquent en faisant bouillir le noir avec une solution diluée de soude caustique qui doit rester incolore ou peu colorée si toutes les matières organiques sont

détruites par le chauffage. Le noir trop chauffé donne à la soude une teinte verdâtre.

L'emploi de noirs fins à pouvoir décolorant élevé se substitue avantageusement au noir en grains (voir p. 394).

Cuite.

La cuite de raffinerie s'effectue dans de grands appareils en cuivre qui ne diffèrent pas, quant à leur principe et à leurs dispositions générales, des appareils à cuire dont nous avons précédemment fait l'étude. Ils sont caractérisés par une surface de chauffe généralement plus grande proportionnellement que dans les appareils de sucrerie. Le chauffage a lieu à la fois par un serpentín qui reçoit de la vapeur directe et par un corps tubulaire qui est alimenté par de la vapeur d'échappement.

La cuite de raffiné s'effectue généralement sans pied de cuite. On graine dans l'appareil et c'est l'opération assez délicate pour laquelle une pratique est nécessaire, car il est utile d'obtenir des grains en proportion voulue et susceptibles de se nourrir tous avec régularité par l'introduction de sirops qui sont concentrés sans qu'il y ait sensiblement production de grains nouveaux. Plus encore qu'en sucrerie le petit grain doit être évité. Le rendement et la facilité de clairçage de la masse cuite ne sont pas seuls à considérer mais encore l'aspect du grain qui donne toute sa qualité au raffiné.

Suivant qu'on veut faire des grains plus ou moins gros il faut au grainage produire plus ou moins de grains initiaux. Les gros grains provenant d'une plus faible proportion de grains initiaux sont nourris plus lentement.

Pour obtenir un grain régulier et d'une dimension voulue la marche de l'appareil c'est-à-dire le vide et la température doivent être très exactement réglés pour les mêmes natures de sirops entrant dans la cuite.

Généralement toutes les cuites comportent dans leur alimentation des rentrées de produits moins purs, sirops verts et sirops d'égout. L'emploi de l'hydrosulfite, qui rend à la raffinerie les plus grands services, quand il est judicieusement pratiqué permet d'introduire une plus grande quantité d'égouts et de sirops verts.

L'hydrosulfite de soude est habituellement introduit dans

l'appareil à cuire à la fin de chaque cuite à la dose d'environ 1,5 à 2 kilos par cuite de 100 hectolitres de sirop. L'hydrosulfite agit en détruisant la coloration au dernier moment, immédiatement avant la coulée de la cuite, alors qu'il ne peut plus s'en produire sous l'action de la chaleur. On a ainsi des masses cuites très peu colorées et il en résulte une importante économie de clairce pour le travail ultérieur, laquelle clairce est très coûteuse à produire par la dépense de noir qu'elle occasionne.

On ajoute aussi de faibles quantités de bleu d'outremer dans l'appareil à cuire dans la proportion très faible de 50 gr. à 200 gr. par cuite suivant la nature du grain et les produits employés. On obtient même par un faible excès, des sucres trop bleus, d'aspect peu agréable. D'ailleurs même lorsqu'il est modéré l'azurage n'est qu'un artifice qui tend à masquer la défektivité d'une teinte aunâtre et comme tel n'est pas recommandable. Cependant la clientèle a horreur du jaune et aime le bleu.

A la sortie de l'appareil à cuire, la cuite est reçue dans un réchauffoir d'où elle est traitée en vue de la séparation du cristal et de l'eau mère par des procédés différents selon le mode de travail.

Dans le réchauffoir un séjour prolongé produit une coloration sensible, aussi doit-on organiser le travail pour que la masse cuite y reste aussi peu de temps que possible et soit très rapidement traitée par un des procédés que nous décrivons ci-dessous, pour séparer les cristaux de l'eau mère.

Nous avons vu que la fabrication des pains a à peu près définitivement disparu. C'est toujours sous forme de tablettes ou lingots propres à un facile cassage en morceaux que le sucre raffiné est mis aujourd'hui. Les procédés employés sont les suivants.

Raffinage en plaquettes.

C'est un progrès considérable par rapport à l'ancien système de fabrication des pains qui a été réalisé par la production directe de tablettes qui se prêtent facilement au débit ultérieur en morceaux, tels qu'ils sont livrés au consommateur et qui, de plus, permettent un clairçage rapide et facile.

Le procédé Adant qui date de 1887, est caractérisé par l'emploi de moules placés radialement à l'intérieur du panier d'une tur-

bine (fig. 154, 155 et 156). On coule la masse cuite dans ces moules parallélépipédiques qui donnent, après démoulage, des tablettes dont l'épaisseur est précisément égale à la plus grande dimension des morceaux de sucre qu'on veut produire. Ces moules sont formés par des tôles introduites dans huit compartiments en

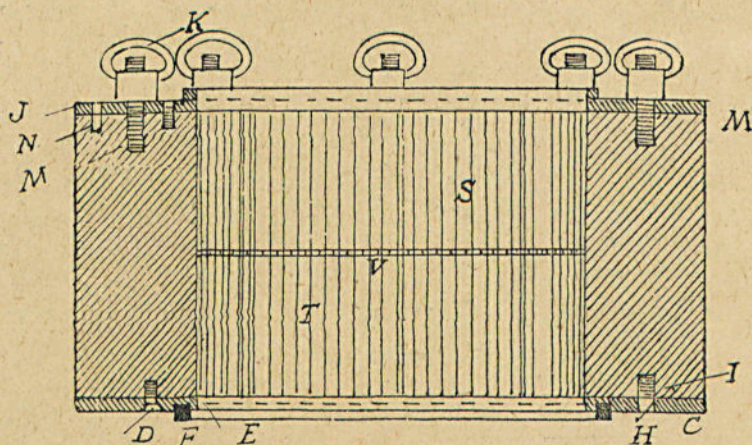


Fig. 163. — Turbine Adant. Vue du panier en coupe.

lesquels est divisée la périphérie du panier. Des coins en fer maintiennent ces plaques à la distance voulue. Pour recevoir la masse cuite le panier est transporté à l'empli, à l'aide d'un chariot roulant sur rails sur lequel on l'adapte.

Pour effectuer l'emplissage des moules on dispose au dessus de chacun des compartiments dans lesquels sont logés les moules un entonnoir communiquant avec les chambres à plaquettes. La masse cuite se répand dans les moules par des rainures qui sont ménagées à cet effet. On introduit des cales dans ces rainures ; ces cales en descendant forcent la masse à descendre et à remplir les interstices qui auraient pu rester vidés par suite de l'air mal évacué.

Après un séjour de dix à douze heures dans l'atelier de l'empli, le degré convenable de refroidissement étant atteint, on retire le panier de son chariot et on le transporte par un moyen mécanique approprié, rail suspendu ou pont roulant, au-dessus du tambour d'une turbine dont le panier forme le complément pour faire une

turbine complète; la turbine est à mouvement par en-dessous.

Des dispositifs ingénieux permettent de fixer rapidement le panier. On met alors la turbine en marche environ 15 minutes. La purge du *sirop vert* s'effectue. Lorsqu'elle est terminée on fixe sur le panier un robinet communiquant, par un tuyau flexible, avec un bac en charge contenant de la clairee. Sans arrêter la

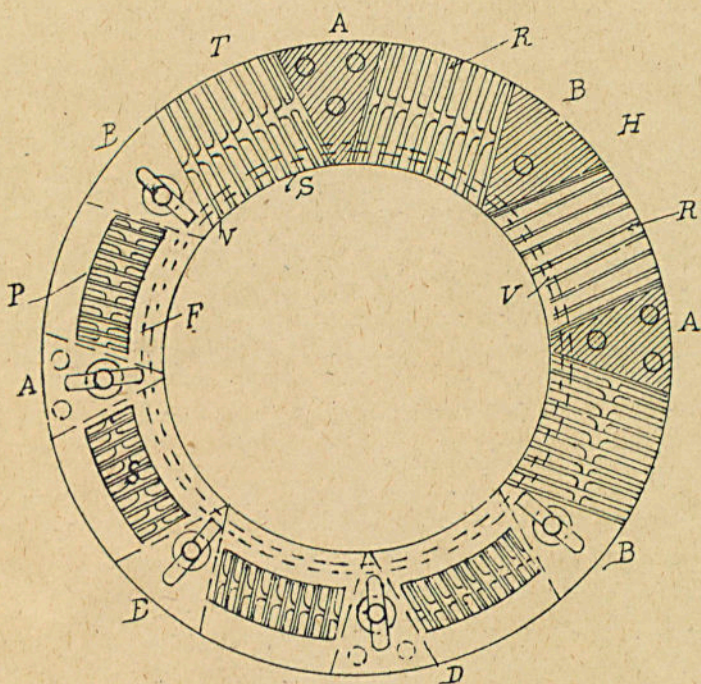


Fig. 164. — Turbine Adant. Vue du panier en plan.

turbine on procède donc au clairçage avec un minimum de clairee. Quand l'opération est terminée on arrête la turbine, on enlève le panier pour faire place à un autre dans la turbine. Le panier est de suite démonté, les plaquettes s'en retirent aisément et sont placées sur les rayons d'une étagère montée sur wagon et celui-ci est envoyé au séchoir.

Le travail des turbines Adant nécessite une assez importante main d'œuvre, malgré son rendement élevé. Le matériel est extrêmement coûteux et nécessite un entretien constant en très bon état.

En réalité, quand le matériel est usagé et manœuvré par des travailleurs peu habiles, comme on est souvent contraint d'en recruter pour ce travail pénible, la consommation de clairce, s'exagère et les déchets sont importants. L'amortissement du matériel représente en outre des sommes importantes.

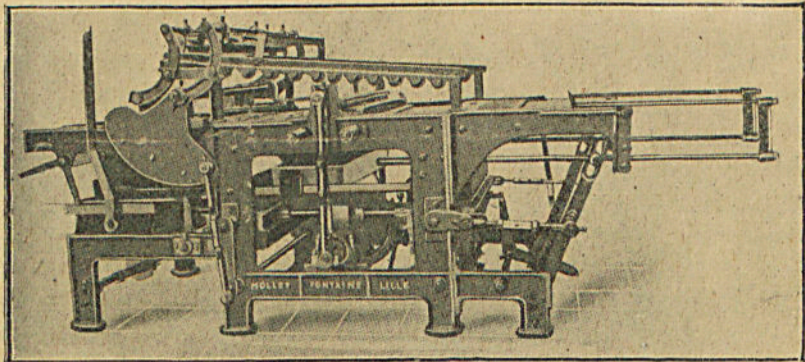


Fig. 165. — Cassoir à sucre Mollet-Fontaine.

Il existe un certain nombre de procédés qui ne sont que des variantes du procédé Adant que leurs inventeurs ont établi en vue de réduire le nombre des moules.

Les rendements de la masse cuite sont sensiblement les mêmes avec ces divers procédés : 68 à 70 % ce dernier chiffre étant un maximum. Les anciens procédés de raffinage en pains lorsqu'ils étaient bien conduits donnaient un rendement supérieur s'élevant à 77 %. C'est que, les clairces ajoutées s'écoulant très lentement, ajoutaient environ 5 % de sucre à celui de la masse cuite. Mais, en réalité, le rendement en sucre rangé en morceaux était très inférieur, en partant des pains, à ce qu'il est devenu.

Les plaquettes ont comme épaisseur la dimension du plus grand côté des morceaux de sucre qu'on se propose de produire. Après dessiccation elles sont sciées en lingots dont la largeur est égale au petit côté du morceau de sucre. Enfin les lingots sont soumis à l'action du cassoir (fig. 157) qui est réglé pour produire la rupture du lingot à la dimension correspondant à l'épaisseur des morceaux. On voit nettement sur chacun d'eux les faces moulées, les faces sciées et les faces correspondant à la cassure.

Sucre aggloméré ou comprimé.

Le raffinage en plaquettes, qui a constitué un progrès considérable, tend à être remplacé en raison de son prix de revient plus élevé par la fabrication des agglomérés quoique ceux-ci aient été fort décriés et considérés comme formés d'un raffiné indigne de ce nom, lors de leur introduction sur le marché.

On peut obtenir des sucres agglomérés en soumettant à la mouture des sucres cristallisés provenant de sucrerie (blanc n° 3) humidifiant la farine ainsi obtenue, soit avec de l'eau pulvérisée, soit par délayage avec des clairces, puis traitant ensuite à la presse pour former des lingots qui sont ensuite sciés.

Mais de tels sucres ne sont pas de très bonne qualité à moins qu'on soit parti de blancs exceptionnellement purs.

Carl Steffen appliqua à la fabrication d'agglomérés très purs le procédé des *nutsches*. De la masse cuite de raffiné est coulée dans des *nutsches* et égouttée, puis claircée et azurée. La masse claircée est traitée à la turbine qui enlève l'excès de clairce et dessèche le sucre. La masse très pure est alors comprimée. On obtient ainsi un rendement supérieur à celui que donnent les procédés Adant ou analogue précédemment indiqués.

Pour produire des sucres comprimés de dureté convenable, il faut régler très exactement la teneur en eau de la masse avant sa compression ; suivant la nature de la machine employée et diverses conditions le pourcentage optimum varie, mais il est généralement voisin de 1,7.

Des comprimés trop compacts présentent l'inconvénient de donner des morceaux de sucre difficiles à fondre, et de ce fait peu appréciés du consommateur.

De nombreux modèles de presses ou de compresseuses sont employées pour la production des lingots. Ils ne diffèrent pas quant à leur principe des appareils employés dans de nombreuses industries pour fabriquer des comprimés.

Les comprimés sont généralement faits sous forme de lingots de 188 mm de longueur avec des sections variables suivant le format du rangé qu'on veut obtenir. Pour éviter que le rangé obtenu par compression puisse se reconnaître par l'absence de trait de scie qui caractérise le sucre provenant des tablettes, on fait parfois

des comprimés en plaquettes de $282 \times 150 \times 18$ mm (ou 23 mm) qui, pour être transformés en rangés, sont sciées comme les plaquettes de sucre obtenu par le procédé Adant.

Les déchets résultant de moulages défectueux ou de cassages irréguliers sont vendus tels quels ou broyés.

Le sciage et le cassage donnent lieu à une grande proportion de déchets qui sont ajoutés aux précédents et traités en vue de l'obtention de poudres de différentes grosseurs séparées dans des bluteries. On distingue dans l'ordre décroissant de grosseur de grains la *semoule*, la *poudre* et la *glace*. Généralement la proportion qu'on obtient nécessairement de cette dernière sorte est supérieure à la vente et on est obligé souvent de procéder à la refonte d'une partie de celle-ci.

La fabrication des agglomérés donne une proportion moindre de déchets à la casserie que la fabrication des tablettes.

Les poussières très fines de sucre ont parfois provoqué de sérieuses explosions. Il est nécessaire qu'une proportion très importante et tout à fait anormale de poussière existe dans l'air pour donner lieu à un mélange inflammable. C'est seulement dans un milieu saturé de poussières, comme dans un broyeur, que la production du mélange détonant peut se produire et non dans une atmosphère d'atelier suffisamment aéré.

Sucre granulé.

Le sucre granulé se présente sous forme de petits cristaux très nets et légèrement dépolis. C'est la forme courante du sucre de consommation aux Etats-Unis où il est produit dans les sucreries. On le fabrique parfois dans les raffineries en France. On traite la masse cuite de raffiné après clairçage à la sortie des nutsches ou des turbines dans un *granulateur*. C'est un cylindre incliné dans lequel on fait arriver de l'air chaud circulant en sens inverse du sucre. Celui-ci, à condition que la vitesse du cylindre soit convenablement réglée, sort sec et prêt à être ensaché à la partie la plus basse du cylindre.

Sucre candi.

Le sucre candi est formé de gros cristaux réunis entre eux, qui se sont formés lentement par cristallisation dans de petits récipients.

La fabrication du sucre candi avec le sucre de betteraves est assez limitée puisque le gros débouché du sucre candi est la préparation du vin de Champagne, pour laquelle on exige des sucres de canne, à tort ou à raison.

Le sucre candi, est fait avec des sirops très purs passés sur le noir, cuits avec une faible saturation et de façon à ne pas produire de grainage dans l'appareil.

Le sirop est coulé dans une série de bassines de cuivre où sont tendus des fils fins sur lesquels s'effectue la cristallisation. Les cristaux groupés autour d'un même fil constituent les *mailles* qui sont livrés avec les fragments de fil adhérents.

Les fils sont tendus sur les parois de la terrine en passant par des trous qui y sont ménagés. Les extrémités des fils ressortant à l'extérieur sont fixés par un lut ou par une bande de papier collé. Les bassines sont maintenues à l'étuve à température assez élevée, aux environs de 50°, en ayant soin d'éviter toute circulation d'air qui produirait un refroidissement trop rapide. L'étuve au bout de huit à dix jours s'est refroidie à 35°. On perce la croûte cristalline légère qui s'est formée à la surface des récipients et on fait égoutter le sirop dans un réservoir muni d'un grillage qui retient les cristaux; les cristaux maintenus dans le récipient sont ensuite lavés à l'eau tiède alcalinisée très légèrement par la chaux. On sèche ces cristaux à une température de 45 à 50°. Cette opération dure environ deux jours. La bassine est alors vidée (ce qu'on appelle *locher*) en frappant avec un maillet sur le vase jusqu'à ce que le sucre se détache. On peut aussi détacher les cristaux en plongeant les récipients dans l'eau chaude jusqu'au bord.

Divers tours de mains sont nécessaires pour obtenir de beaux produits recherchés par la clientèle.

L'ensemble de la fabrication exige des manutentions assez nombreuses et est coûteuse. Elle est au total assez rémunératrice en raison de la grande différence de prix entre le candi et le raffiné ordinaire.

On fait des candis *blancs*, *paille* et *roux* dont les noms indiquent assez la différence de coloration.

Traitement des bas produits de raffinerie

Le traitement des sucres bruts par les méthodes d'affinage quelles qu'elles soient donnent de très grandes quantités de sirops plus ou moins purs qui doivent être cuits pour en extraire le sucre

Pour cuire les sirops de raffinerie de bas produits on part habituellement d'un pied de cuite constitué par des sucres bruts à grains bien nets qu'on introduit dans un appareil à cuire.

On pratique habituellement la cuite systématique pour appauvrir les sirops d'affinage jusqu'à la mélasse. On effectue habituellement en deux jets l'appauvrissement des produits jusqu'à l'épuisement. Suivant les prix relatifs du sucre et de la mélasse on doit pousser plus ou moins loin cet épuisement en tenant compte toujours de la dépense de vapeur nécessitée par la multiplicité des cuites et de l'immobilisation de capitaux que représente la prolongation du travail.

A la sortie de l'appareil à cuire, la masse cuite pauvre est coulée dans des malaxeurs où elle séjourne plusieurs jours. Comme elle est extrêmement épaisse on la dilue en cours de refroidissement par une certaine quantité de mélasse qu'on y ajoute. On prélève des échantillons, on recueille l'égout et lorsque celui-ci ne s'est plus appauvri par rapport à l'essai de la veille, on vide le malaxeur.

La masse cuite sortant du malaxeur est turbinée ou traitée dans les nutsches Steffen suivant la méthode d'affinage employée dans l'usine. L'égout qui est obtenu constitue la mélasse à évacuer. On continue le traitement par des sirops d'affinage comme pour un sucre brut, jusqu'à l'obtention d'un sucre parfaitement exempt d'eau mère et pouvant ainsi entrer dans la fonte de raffiné.

Les sirops verts qu'on recueille à la sortie des turbines ou des nutsches de raffiné, ont encore une pureté élevée qui est généralement de 95. On les traite par le noir animal en les faisant passer sur les filtres qui ont travaillé, puis on en introduit une certaine proportion avec le sirop de cuite dans l'appareil à cuire. On peut aussi faire des cuites entièrement composées de sirop vert. Lorsqu'on a recours à l'emploi de l'hydrosulfite de soude, on en emploie une quantité un peu plus élevée dans les cuites ainsi constituées et le clairçage de la masse cuite exige un peu plus de clairce, mais finale-

ment on obtient de beau raffiné à condition que la cuite normale de raffiné soit faite avec de beau sirop très bien filtré.

L'égout de la cuite de sirop vert constitue le sirop vert deuxième. Il est utilisé comme sirop d'affinage ou introduit dans la cuite de bas produits.

C'est surtout avec les sirops verts deuxièmes qu'on peut utiliser avantageusement les noirs en poudre à pouvoir décolorant élevé. Un certain nombre de raffineries emploient couramment ces produits malgré leur prix élevé. Combiné avec l'emploi de l'hydro-sulfite de soude l'usage de ces noirs permet une épuration des sirops et des clairces plus économique que celui du noir en grains.



TABLE ALPHABÉTIQUE

A	B
<i>Abraham</i> 127, 259, 340, 456	Bac jaugeur..... 115
<i>Achard</i> 130	Bactanat (Noir) 394
Acide acétique (Extraction par l'). 486	<i>Baerts</i> 212
Acide phosphorique 278	<i>Baker</i> 235
Acide sulfureux..... 261, 264	<i>Barruel</i> 193
Acide sulfureux liquide..... 269	Baryte..... 278, 477
Accumulateur de vapeur. .. 291	Bascule à betteraves..... 87
<i>Adant</i> (Turbine)..... 497	— Sucre..... 440
Affinage..... 490, 453	Batardes..... 489
Agglomérés 501	Batchite (Noir) 394
Alimentation des générateurs 290	Batterie de diffusion 109
Amides 468	<i>Battut</i> 260
<i>Anders</i> 211	<i>Baudrimont</i> 92
<i>Andrlick</i> 135, 200	<i>Beaudet</i> 275
Antiseptiques..... 125	<i>Beduwé</i> (Système)..... 79
Appareil à acide sulfureux. 267	<i>Bergreen</i> 100, 131
— à clarifier. 494	— (Presse)..... 157
— à cuire..... 406	<i>Béringer</i> 235
— à évaporer 303	<i>Berthollet</i> 94
— Helmer 320	<i>Bertrand</i> (Gabriel). 28
— Hodek..... 320	Beurre (Robinet à) 320
— Van Ingelandt 320	<i>Beyers dorfer</i> 204
— Lexa-herold 412	<i>Billange</i> 473
— Richter 218	Binage..... 50
<i>Asselberg</i> (Système) 227	Bleu Coupier 439
Arrachage des betteraves . 51	— d'Outremer 439
<i>Aulard</i> 141	<i>Bloch</i> 214, 282
Auto évaporation..... 354	<i>Bock</i> 453
Azurage..... 439	<i>Bocquin</i> 445
	<i>Bommetin</i> 41

<i>Bontemps</i>	310	Centrifugation (Epuise- ment par).....	142
<i>Bosse</i>	141	Centrifuges.....	424
<i>Bothy</i>	226	<i>Cerny</i>	132
<i>Boucherie</i>	93	Chaleur de vaporisation...	305
<i>Bouchon</i>	41	<i>Champenois</i>	90
<i>Bouillant</i>	320	<i>Chapmann</i> (Appareil)	311
Bouillissage des jus.....	221	<i>Chassant</i>	51
Bouillisseur.....	221, 358	Chaudières à carbonater ...	216
Brasmoscope.....	460	— à sulfiter.....	269
<i>Bréguet-Delaporte</i>	379	— à vapeur.....	286
<i>Breusted</i>	37	Chauffage.....	358
<i>Briem</i>	49	Chaulage de jus.....	202
Brise-mousse.....	322	Chauleur Dufay.....	207
<i>Bromberg</i> (Presse).....	159	Chauleur König.....	207
<i>Bruckner</i>	381	<i>Chouniloff</i>	142
<i>Brunehant</i>	458	Chute de température.....	347
Bruxelles (Conférence de).....	20	Circulateur.....	330
<i>Bué</i>	288	Circulation à la diffusion ..	133
<i>Burkard et Weiss</i>	190	<i>Claassen</i> , 127, 161, 214, 458,	460
<i>Burtch</i> (Pompe).....	233	Clairçage.....	434
<i>Bussy</i>	190	Clarification.....	493
Buttage.....	50	<i>Claude</i> (Georges).....	45
<i>Buttner et Meyer</i> (four).....	163	Coefficient de solubilité. ..	399
— — (Presse).....	156	— de transmission.....	351
C			
<i>Cail</i>	10, 169, 175	<i>Colin</i>	31, 32
Caisse d'évaporation.....	308	Collage du four à chaux ...	174
Caisse Kestner.....	310	<i>Collette</i>	135
Caisse Prache et Bouillon ..	309	Colloïdes.....	95
Calandre.....	309	Compression de la vapeur..	373
Calorifuges.....	296	Compresseurs.....	373
Calorisateur.....	106	Comprimés (Voy. Agglomé- rés).....	
<i>Camuset</i>	130, 224, 377	Compteurs de vapeur...	
<i>Canaret</i>	310	Condenseur barométrique. .	334
<i>Candi</i>	502	Conservation des betteraves	70
<i>Capelle</i>	212	<i>Constans</i>	356
Carbonatation ..	210	Contrats de betteraves.....	68
Carbonatation continue....	223	Coupe-racines.....	99
Carboraffin (noir).....	394	Couteaux de diffusion.....	101
<i>Carlík</i>	422	<i>Combes</i>	34
<i>Caron</i>	150, 284	Cristallisation.....	398
Cassage.....	500	Cristallisation en mouve- ment.....	450
Cellulaire (tissu).....	26	Cristallisoir.....	462
		Cristallisoirs (V. Malaxeurs)	

Cristalloïdes.	95	<i>Dugottier</i>	478
<i>Crolbois</i>	167	<i>Duret</i>	161
Cuite.	398, 496	<i>Du Rieux</i>	278
Cuite Carlik	414	<i>Dutilloy</i>	264, 275
Cuite continue.....	421	<i>Dutrochet</i>	93, 95
Cuite Freitag.....	414		
Cuite Grossé.	413		
Cuite Lexa herold.....	412		
Cuite Reboux.....	413		
<i>Curin</i>	460		
		E	
		Eaux des lavoirs.	168
		Eaux des Presses	161
		Eaux résiduaires	168
		Eaux de vidange de la diffusion.	168
		Ebulliantage (Procédé d')	135
		Ebulliodensimètre.....	460
		Echaudage des cossettes...	138
		Ecumes.....	250
		Effet (multiple).	302
		Effeillage.....	50
		Egouts.....	438
		Egouts (Séparation des) ...	446
		Ejecteur air, condenseur ..	338
		Electrification	296
		Elévateur à godets... ..	79, 83
		Elevateur à hélice.....	79
		Elévateur à palettes.....	78
		Elution	473
		Emmagasinage.....	441
		Emplis.	445, 489
		Emulseurs.	79, 313
		Engrais	44
		Enzymes à la diffusion.....	129
		Epandage.	169
		Eponite	394
		Epuisement des Ecumes... ..	240
		Epulpeurs.....	160
		Epulpeur Pilhardt.....	192
		Epulpeur Wagner.....	196
		Epuration chimique des eaux	170
		Epuration de jus.....	
		<i>Ernotte</i> , 284, 291, 231, ..	356
		Evaporation	298
		<i>Evrard</i>	50
D			
Darco (Noir).	394		
<i>Declowyte</i>	394		
<i>Décluy</i>	186		
Défécation.....	193		
Dégraissage.	503		
<i>Dehne</i> (Pompe).....	232		
<i>Delaporte</i> (V. Bréguet).....			
<i>Delfosse</i>	454		
Démariage.....	49		
<i>Denis</i> (Filtre)	259		
<i>Depasse</i>	380		
Déphlegmation.....	322		
Dépulpeurs (V. épulpeurs) .			
<i>Derosne</i>	13, 193, 401		
<i>Descamps</i>	266		
Dessiccation des Cossettes. .	144		
Désureur	322		
<i>Devaux</i>	163		
<i>Dewald</i>	139		
<i>Deyeux</i>	193		
Dialyse.	95		
Diffuseurs.....	104		
Diffusion continue.....	134		
<i>Dippe</i> (Betterave).	37		
Dissociation	174		
Doigts (couteaux à).....	102		
<i>Dombasle</i>	13, 92		
Dorsite (Noir)	402		
<i>Druelle-Say</i>	461		
<i>Drucker</i>	477		
<i>Dubrunfaut</i>	94, 478, 485		
<i>Dufay</i>	457		
<i>Dulac</i>	312		

F			
Faisceau tubulaire.....	410	<i>Fradiss</i>	404
Faitière.....	99	Frais de fabrication.....	482
Félix	152, 373	<i>Freitag</i>	414
Fermentation à la diffusion	125	<i>Friedrich</i>	473
Fesca (Turbiné)	281	<i>Frey</i>	194
Fibreux (Tissu).	29	Fumier	43
<i>Fick</i>	96		
<i>Figuier</i>	193, 393	G	
Filet (Cuite au).	398	<i>Garez</i>	131
Filtration des jus	229	<i>Gay</i>	162
Filtration des sirops	389	Gaz à la diffusion.....	123
Filtration (Lois de la).....	234	Gelées (betteraves).....	125
Filtre Daneck.	253	Géométrique (pesée)	65
Filtre-presse.	238	<i>Geschwind</i>	28
Fitchar	394	<i>Girard (Aimé)</i>	31
Flandrak (Noir).	394	Glace.....	502
<i>Fleischer</i>	475	Glomérules.....	28
<i>Florimond-Desprez</i> (Bette- rave)	36	Glucose dans la betterave...	128
<i>Flourens</i>	451	<i>Goller</i> (Couteaux)	104
Fonte.	492	<i>Gougis</i>	56
Force motrice.....	291	<i>Graham</i>	95
Formes	492	Grains (Cuite en)	398
<i>Fouquier d'Hérouel</i> (Bet- terave).	36	Granulés	472, 502
Four à chaux.....	173	<i>Greiner</i>	310, 410
Four à Chaux Cail	175	<i>Grière</i>	133
Four à chaux à gazogène...	175	<i>Grobert</i> (de) 171, 214, 278, 461, 479	
Four à chaux Khern	177	<i>Grossé</i> (Cuite).....	413
Four à chaux rotatif.....	182	<i>Guillon</i>	401
Four à chaux Vivien	179		
Four à sécher Buttner et Meyer	163	H	
Four à sécher Devaux	163	<i>Haag</i>	386
— — Huillard.....	164	Hélice Mastaing et Delfosse.	436
— — Pétry Hecking..	164	<i>Hélot</i> (Betteraves).....	352
— — Puvrez de Gou- lart.....	164	<i>Helmer</i>	135
Four à sécher Sperber	166	<i>Herzfeld</i>	484
Four à sécher Scot.	146	<i>Heuser (Otto)</i>	131
— — Vernon.....	165	<i>Heuzel</i>	37, 41, 58
Four à soufre.....	265	<i>Hitier</i>	320
Fourrages mélassés	467	<i>Hodek</i>	238, 302
		<i>Howarth</i>	224, 315, 321, 353, 381, 443

TABLE ALPHABÉTIQUE

511

Hydrauliques (Transporteurs). 72
Hucke. 454
Huillard. 164
 Hydrosulfites. 272
Hyros-Rak. 134, 135

I

Ingelandt (Van) 320
 Injecteur Koerting. 438
Innemann. 278
 Invertine 34
 Iode. 45

J

Jaugeur (bac). 115
Jellinck 92, 194, 334
Johnson. 473
Joulié 42

K

Kaiser 132
Kelpchar 394
Kessler. 137
Kestner, 192, 312, 267, 463
Kirn. 121
Klein Wanzenberg 37
Klusemann. 94
Klusemann (Presse). 156
Koerting (Voy. Injecteur). 438
Kohler 132
Kosakowski. 211
Kowaski. 210
Kryz. 32
Kuhlmann. 193
Kuhn (Betterave de) 37
Kulhe. 211

L

Lacouture (Four). 206, 266
Lafeuille 97, 144, 449
Lagrange 278, 455
 Lait de chaux 202
Lair 473

Langen. 478
Lauke. 43
 Lavage des Betteraves. 79
 Lavage du gaz 186
 Laveurs à betteraves. 79
 Lavoirs à betteraves (voir laveurs)

Le Docte 393
Legat. 233
Le Fée 162
Lenart (Table de). 205
Leptay. 477, 479, 481
Leuconostoc. 320
Lexa-héroid. 412
 Lacto-pulpe 167
Lilie 308
Linsbauer. 342
Lipchinski. 445
Lippmann 474
Listre. 474
 Lithopone. 478
 Lits bactériens. 170
 Littoral (Noir) 394
 Lixiviation 148
 Lochage. 489
 Locher 502
Loeben. 34
Lowitz 393
 Lumps 484
 Lyre (chauffage en). 410

M

Macération. 92
Maguin (Coupe-racines) 100
 Mailles 502
 Main d'œuvre. 483
 Malaxeurs. 445
Manoury. 456, 473, 478
 Marais. 317
 Marc. 91
Marien. 243
Marignac 98
 Masse-cuite 399
Mastaing 446, 459
Massy (Robert de). 278

Matériel (Valeur du).....	481	Paulik (Distributeur à lait de chaux).....	206
Mécanique (Filtration)....	252	<i>Pauly</i>	326
Meichage.....	110	<i>Payen</i>	393
Meicher.....	110	<i>Péclét</i>	305, 353
Mélasse.....	465	<i>Pecqueur</i>	302
Mélasse de Canne.....	467	<i>Pehl</i>	311
Mélassés (V. fourrages) ...		<i>Péligot</i>	475
Mélassigène.....	400	<i>Pellet</i>	200, 401
<i>Mélichar</i>	132	<i>Pelletan</i>	92, 337, 373
<i>Mennesson</i>	42	<i>Pelletier</i>	55
<i>Menoscal</i> (Procédé).....	275	<i>Périer</i>	194
Messian (Four Vivien et) . .	266	<i>Pfeiffer</i>	152, 278
<i>Mick</i>	203	<i>Philippe</i> (Filtre).....	254
<i>Mintz</i>	127	Phosphate d'ammoniaque..	278
Monogermes (Graines).....	49	Phosphate de chaux.....	278
<i>Mousses</i>	163	Phosphorique (acide).....	278
<i>Molaschar</i>	394	Phosphosulfite.....	278
<i>Moussette</i>	49	<i>Piccard</i>	373
Multiple effet.....	302	Pied de Cuite.....	416
N			
<i>Naudet</i>	133, 226, 335	Pierre à chaux.....	183
Noir animal.....	193	Pierreurs.....	75
Noir décolorant.....	193, 393	<i>Piette</i>	296
Non-sucre.....	400	<i>Pionthowski</i>	434
Non sucre (solubilité du)...	404	Plamotage.....	489
Norite.....	394	Plaquettes.....	497
<i>Normand</i>	352	<i>Plauson</i>	281
Nourriture des grains.....	417	<i>Pluchel</i>	50
Nutsches.....	423, 491	<i>Pohlé</i>	313
O			
<i>Olier</i>	134	Point de cuite..	417
<i>Oliber</i> (Filtre).....	244	<i>Poiseuilles</i> ..	235
<i>Orl</i>	282	<i>Pokorny</i>	379
Osmose.....	95, 472	Pompe à air humide.....	336
Outremer.....	439	Pompe à air sèche.....	338
Oxford (Procédé d').....	146	Pompe à gaz.....	186
P			
<i>Pacotet</i> (sulfitomètre).....	270	<i>Porak</i> (Four).....	268
Pain de sucre.....	489	<i>Possoz</i>	194, 417
Patte.....	489	Poudre.....	502
		<i>Prache et Bouillon</i> , 278,	376
		378,	420
		Prangey.....	278
		Préévaporateur.....	326
		Primes à l'exportation.....	16
		Prinsen Gœrlicgs.....	473
		Pressage des Pulpes.....	153
		Presses à pulpes.....	155

<i>Saillard</i> (E) 24, 127 160 167, 170, 200, 357	Sulfitation des jus et sirops 262, 265, 390
<i>Sainte Claire Deville</i> 174	Sulfitomètre Pacotet..... 270
Salage des pulpes..... 163	Sulfureux (acide). 266
Salin 466	Surface de chauffe des gé- nérateurs. 282
<i>Sauer</i> 394	Surface de chauffe des appa- reils à cuire..... 408
<i>Scheibler</i> 472, 476	Surface de chauffe des appa- reils à évaporer 350
<i>Schistöff</i> 93	Surface de chauffe des Ré- chauffeurs. 378
<i>Schreider</i> 37	Sursaturation..... 399, 402
<i>Schroder</i> 312	Sutchar (Noir) 394
<i>Schutzenbach</i> 92, 424	<i>Sweetland</i> (Filtre). 24
Scindage de la batterie.... 129	Système <i>Bouillant</i> 322
<i>Sczenlowski</i> 434	Système Félix. 152
Séchoirs à pulpes (V. Fours)	Système Greiner. 410
Seconds jets. 451	Système Pfeiffer. 152
<i>Sellier</i> 28	Système Welner-Jelmek.... 412
<i>Selvig et Lange</i> (Presse).... 159	Système Witkowicz..... 410
Semoule..... 502	
Séparation (Procédé de) ... 474	T
Serpentins..... 410	Tamiseur Eisner — Meurens 204
Serrage de la masse cuite ... 417	Tamiseur Koran. 204
<i>Seyrig</i> 424	Tablettes. V. Plaquettes....
<i>Sherwood</i> 282	<i>Teyssier</i> 488
Sirop couvert 489	Thermo-compresseur. 373
Sirop d'usine. 399	Transmission de la chaleur. 347
Sirops verts..... 489	Transporteur de sucre..... 435
<i>Solognac</i> 312	<i>Trappe</i> 302
Solubilité (Coefficient de) .. 399	Turbinage..... 424
<i>Sommier</i> 368	Turbines (V. Centrifuges). .
Sonde..... 408	Turbo compresseur 371
Soufre 266	Tyrosinase..... 130
Soutirage..... 120	
<i>Souvoir</i> 302	U
<i>Sperber</i> (Séchoir) 166	Urbain..... 275
<i>Stammer</i> 453	
<i>Stanek</i> 213	V
<i>Staudinger</i> 371	Vallez (Filtre) 244
<i>Steffen</i> 135, 474, 491	<i>Van t' Hoff</i> 94
<i>Stenzel</i> 131	Vapeur détendue 303
<i>Stiklan</i> 130	Vapeur directe. 305
<i>Stirling</i> (Chaudière)..... 287	Vapeur (Production de).... 286
Stoklasa..... 45	
Strontiane (procédé à la) ... 475	
Substitution (procédé de). . 473	
Sucrates..... 473	
Sulficarbonation..... 271	

TABLE ALPHABÉTIQUE

515

Vaporisation (Chaleur de)	304	<i>Weibel</i> (Voir Piccard).....	373
Vase de sûreté.....	322	<i>Wellner Jelinek</i>	412
<i>Vecchis</i> (De)..92, 147, 279,	386	<i>Weinrich</i> (Turbine).....	491
Vergeoises	497	<i>Weisberg</i>	271
Vernon (Séchoir)	165	<i>Weston</i> (Turbine).....	428
<i>Vilain</i>	45	<i>Weyr</i>	132
<i>Vilmorin</i> (de)15, 23,	36	<i>Willow</i>	282
Viéville	458	<i>Witkowiez</i> (Système).	410
<i>Violette</i>	33	<i>Worthington</i> (Pompe)..	233
Viscosité.	400	<i>Wuëff</i>	453
Vivien126, 166,	274		
<i>Vogelberg</i>	141	Y	
<i>Vondrak</i>	320	<i>Yargan</i> (Appareil).....	310
<i>Vonhoff</i> (Four).....	266		
W		Z	
<i>Wagner</i>	160	<i>Zeuner</i> (Tables de).	346
<i>Walkhoff</i>	91, 394	<i>Zschege</i>	153
<i>Watson</i> (Turbine)	440	<i>Zuen</i>	429
<i>Wanquier</i> (Turbine).	435		

TABLE ANALYTIQUE

Avant propos.	7
--------------------	---

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS ET HISTORIQUE

Chapitre Premier. — Généralités	9
<i>Historique</i>	11
Les origines du Sucre et le sucre de cannes, 11 ; Origines de la production du sucre de betteraves, 11 ; Le blocus continental, 12 ; La lutte entre le sucre colonial et le sucre indigène au XIX ^e siècle, 12 ; Le développement de la Sucrierie en France et en Allemagne, 14 ; La loi de 1884, 15 ; Les primes à l'exportation, 16 ; La conférence de Bruxelles 17 ; La guerre de 1914 et l'industrie sucrière, 18 ; La situation actuelle de la sucrierie dans le monde	19
<i>Répartition de la fabrication du sucre en France</i>	21
<i>Statistique générale</i>	22

DEUXIÈME PARTIE

LA BETTERAVE

Chapitre premier. — Généralités	23
Caractères de la Betterave, 27 ; Constitution de la racine, 29 ; Betteraves racineuses, 32 ; Formation du sucre dans la betterave, 33 ; Les diverses variétés de betteraves sucrières..	35
Chapitre II. — Culture de la betterave	38
Conditions météorologiques, 38 ; Chaleur, 39 ; Lumière, 39 ; Etat physique du sol, 40 ; Zones de culture favorables.	41
<i>La fumure de la betterave</i>	42
<i>Les travaux agricoles pour la production de la betterave</i>	46
Préparation du sol, 46 ; Ensemencement, 47 ; Démariage, 48 ; Binages, 50 ; Effeuilage, 50 ; Arrachage,	51
<i>Prix de revient de la betterave</i>	53
<i>Utilisation des feuilles des betteraves</i>	57

TROISIÈME PARTIE

EXTRACTION DE JUS DE LA BETTERAVE

Chapitre Premier. — Approvisionnement et lavage des betteraves	59
Réception des betteraves, 60; Tare des Betteraves, 64; Pesée géométrique, 56 ; Contrats de betteraves, 68; Conservation des betteraves, 70; Emmagasiner des betteraves, 71; Pertes pendant la conservation des betteraves, 71 ; Transport et lavage des betteraves, 72 ; Emploi de l'eau sous pression, 75 ; Elévation des betteraves du laveur 76 ; Lavage des betteraves 80; Elévateurs à betteraves, 83 ; Pesage des betteraves, 83 ; Traitement des Radicelles et queues de betteraves, 88 ; Evacuation des eaux de lavage des betteraves	90
Chapitre II. — Extraction du jus de la Betterave	91
Généralités historiques, 91 ; Macération, 92 ; Procédé Schutzenbach, 92 ; Principes de la Diffusion, 94 ; Technique de la Diffusion, 98 ; Coupe racines, 99 ; Couteaux de diffusion, 103 Contrôle du travail des coupe-racines, 104; Les diffuseurs, 104 Calorificateurs, 108 ; Accessoires des diffuseurs, 109 ; La batterie de diffusion, 110 ; Charge des diffuseurs, 116 ; Limite de l'épuisement, 117 ; Contrôle de la diffusion, 118 ; Capacité de production de diffuseurs, 119 ; Soutirage du jus de diffusion, 120 ; Qualité de l'eau dans la diffusion, 122 Quantité d'eau employée à la diffusion, 123 ; Gaz des diffuseurs, 123 ; Pureté des jus de diffusion, 124 ; Fermentation à la diffusion, 125 ; Procédés divers de diffusion, 125 Procédés basés sur des modifications à la circulation dans la batterie ordinaire, 129; Renversement de la circulation, 130 Procédés basés sur le chauffage des cossettes au début de la diffusion, 130 ; Procédés basés sur l'accélération de la circulation avec dispositions particulières du matériel, 132 La dessiccation des cossettes avant extraction, 144 ; Les râperies.....	149
Chapitre III. — Les Pulpes de sucrerie	151
Vidange des diffuseurs et évacuation des pulpes, 151 ; Utilisation des pulpes, 152 ; Pressage des pulpes, 153 ; Presses à pulpes, 155 Récupération des pulpes fines, 160 ; Utilisation de l'eau des presses à pulpes, 161 ; Dessiccation des Pulpes, 162 ; Appareils à dessécher les pulpes, 162 ; Mélassage des Cossettes épuisées	166
Chapitre IV. — Eaux résiduelles	168
Généralités, 168 ; Les diverses sortes d'eaux résiduelles, 168 ; Epandage, 169 ; Traitements chimiques et antiseptiques..	170

QUATRIÈME PARTIE

ÉPURATION DU JUS DE LA BETTERAVE

Chapitre premier. — Production de la chaux et de l'acide carbonique.	173
Généralités, 173 ; Les divers types de four à chaux, 177 ; Fermeture des four à chaux, alimentation en calcaire et en combustible, 182 ; Capacité des fours à chaux, 182 ; La pierre à chaux, 183 ; Pompes à gaz carbonique, 186 ; Richesse en acide carbonique du gaz, 187 ; Calcul de la pompe à gaz.	188
Chapitre II. — Epuration des jus sucrés. Carbonatation. Filtration.	192
Généralités, 192 ; Epulpage des jus, 195 ; Chaulage des jus, 197 Réchauffage du jus, 200 ; Les divers modes de chaulage, ...	202
Saturation par l'acide carbonique, 208 ; Phénomènes qui se produisent sous l'action de l'acide carbonique, 208 ; Pratique de la carbonatation, 215 ; Chaudière à carbonater, 216 Bouillissage des jus, 221 ; Carbonatation continue, 222 ; Filtration des jus carbonatés, 229 ; Malaxage des jus troubles, 230 Alimentation des Filtre-presses, 230 ; Filtration des écumes, 234 Filtre-presses, 238 ; Filtres divers, 242 ; Jus de 1 ^{re} carbonatation, 248 ; Ecumes de sucrerie, 250 ; Filtration mécanique des jus, 252 ; Filtres mécaniques.	255
Chapitre III. — Emploi de l'acide sulfureux dans l'épuration.	260
Généralités, 260 ; Inversion du sucre par l'acide sulfureux, 261 Mode d'action de l'acide sulfureux, 261 ; Divers modes d'emploi de la sulfitation, 262 ; Production de l'acide sulfureux gazeux, 264 ; Modèles divers de fours à soufre, 266 ; Chaudières à sulfiter, 269 ; Sulfitation par l'acide sulfureux liquide, 269 ; Procédé de sulficarbonatation de Weisberg, 271 ; Emploi des hydrosulfites, 272 ; Mode d'action des hydrosulfites,	273
Chapitre IV. — Procédés divers d'épuration des jus sucrés	277
Généralités, 277 ; Emploi de l'acide phosphorique et des phosphates, 278 ; Emploi de produits formant des combinaisons insolubles avec le sucre, 278 ; Purification des jus concentrés obtenus par traitement des cossettes séchées, 279 Epuration physique. Application de l'ultrafiltration. 281 Extraction intégrale des produits solubles de la betterave	282

CINQUIÈME PARTIE

PRODUCTION DE LA VAPEUR. — ÉVAPORATION

Chapitre premier. — Production de vapeur et force motrice	283
Généralités, 283 ; Production de la vapeur en sucrerie, 286 ; Surface de Chauffe des Générateurs, 286 ; Alimentation des Générateurs, 288 ; La force motrice en sucrerie, 289 ; Caloriguges, 294 ; Compteurs de vapeur, 294 ; Electrification des usines.....	296
Chapitre II. — Evaporation des jus sucrés.....	298
Généralités. Importance de l'Evaporation, 298 ; Quantité d'eau à évaporer, 298 ; Principes généraux de l'évaporation, 302 ; Principes de la transmission de la chaleur dans les appareils à évaporer, 303 ; Etude des Appareils à évaporer, 306 ; Fonctionnement des appareils à évaporer, 314 Accessoires des Caisses d'évaporation, 318 ; Nombre des effets à employer dans l'appareil à multiple effet, 323 ; Annexe sdes appareils d'évaporation ; Le préévaporateur, 324 Régulateur automatique de pression, 330 ; Circulateur, 331 Production du vide, 333 ; Ejecteau-air ; condenseur 338 Evaporation sous pression.....	339
Chapitre III. — Calcul des Appareils à évaporer.....	343
Généralités, 334 ; Bases théoriques du Calcul des appareils à évaporer, 335 ; Transmission de la chaleur à travers une paroi, 347 ; Coefficients de transmission, 352 ; Chute de température, 353 ; Méthode pratique pour le calcul des surfaces de chauffe, 354 ; Chauffage de la diffusion, 356 ; Chauffage des jus et sirops, 357 ; Chauffage des appareils à cuire, 358 ; Quantités de vapeur à prélever sur les caisses de l'appareil à évaporer, 358 ; Calcul des surfaces de chauffe	359
Chapitre IV. — Comparaison des divers modes d'évaporation	365
Emploi de la compression de la vapeur, 370 ; Compression industrielle de la vapeur d'eau, 374 ; Moteurs à vapeur de jus	377
Chapitre V. — Réchauffage des jus et sirops.....	379
Généralités, 379 ; Calcul des réchauffeurs, 379 ; Modes divers de réchauffage, 388 ; Suppression de l'évaporation et des réchauffages.....	387

SIXIÈME PARTIE

**TRAITEMENT DES SIROPS. — PRODUCTION DU
SUCRE. — SOUS-PRODUITS**

Chapitre Premier. — Filtration des Sirops.....	389
Généralités, 389 ; Sulfitation des sirops, 390 ; Traitement divers des sirops, 392 ; Traitement par les noirs décolorants, 393 Les diverses sortes de noirs.....	394
Chapitre II. — La Cuite.....	398
Généralités, 398 ; Principes de la cristallisation du sucre, 399 Influence de divers éléments sur la solubilité du Sucre, 400 Actions particulières sur la viscosité, 400 ; Accroissement des Cristaux, 402 ; De la sursaturation, 402 ; Table de Fradiss ; Appareils à cuire, 406 ; Systèmes divers de chauf- fage des appareils à cuire, 410 ; Appareils à cuire horizon- taux, 412 ; Appareils à mouvement mécanique, 413 ; Pra- tique de la Cuite, 414 ; Durée de la cuite, 418 ; Récupéra- tion des pertes de chaleur à la cuite, 420 ; Cuite continue	421
Chapitre III. — Séparation du sucre de l'eau-mère.....	422
Généralités, 422 ; Centrifuges ou Turbines, 424 ; Principes du turbinage, 426 ; Les différents systèmes de centrifuges, 427 ; Les divers modes de commande des turbines, 430 ; Commande électrique des turbines, 431 ; Commande hydraulique des turbines, 433 ; Clairçage, 434 ; Azurage, 439 ; Transport du sucre à la sortie des turbines, 440 ; Traitement du sucre sorti des turbines. Emmagasinage.....	441
Chapitre IV. — Rentrées d'égouts et refonte.....	443
Généralités, 443 ; Rentrée des égouts dans le travail, 444 ; Cristal- lisation en mouvement, 445 ; Malaxeurs, 445 ; Conduite de la cristallisation en mouvement, 450 ; Refonte des seconds jets, 452 ; Méthodes diverses de travail des masses cuites de second jet et des égouts.....	453
Chapitre V. — La Mélasse.....	464
Définition, Généralités, 464 ; Utilisations diverses de la mélasse, 467 Extraction du sucre des mélasses ; historique du traite- ment des mélasses par les bases alcalino-terreuses, 470 ; Os- mose, 472 ; Extraction du sucre par l'acide acétique 472 ; Extraction du sucre des mélasses par les sucrates alcalino- terreux.....	473

SEPTIÈME PARTIE

FRAIS DE PRODUCTION. — RAFFINAGE

Chapitre premier. — Dépenses d'installation et d'exploitation	479
Généralités, 479 ; Valeur du matériel de sucrerie, 481 ; Frais de fabrication.....	482
Chapitre II. — Raffinage du sucre	486
Généralités, 486 ; Les méthodes de travail en raffinerie, 489; Affinage, 490 ; Production de la Fonte, 492 ; Traitement de la Fonte, 493; Revivification du noir-animal, 494 ; Cuite, 496 ; Raffinage en plaquettes, 497; Sucre aggloméré ou comprimé, 501 ; Sucre granulé, 502 ; Sucre candi, 502; Traitement de bas produits de raffinerie.....	504

Encyclopédie de Chimie Industrielle

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION de M. C. MATIGNON

Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France

Secrétaire général: M. NICOLARDOT

- Electrothermie appliquée.** I. *Les calculs électrothermiques. Les pertes de chaleur dans les fours. Le carbone en électrothermie. Les électrodes en charbon et en graphite.* par G. FLUSIN, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble. 1930, 1 vol. gr. in-8 de 380 pages, avec 100 figures. — Relié, 85 fr. Broché..... 70 fr.
- Conservation de la Viande et du Poisson,** par C. BIDAULT, vétérinaire principal de l'Armée, directeur du Laboratoire de microbiologie de l'inspection générale des subsistances. Préface de M. LÉCLAINCHE, membre de l'Institut. 1927, 1 volume grand in-8 de 520 pages, avec 55 figures. Relié, 95 fr. Broché..... 80 fr.
- Les Matières plastiques et les Soies artificielles,** par MM. CLÉMENT et RIVIÈRE, ingénieurs E. P. C. I. 1924, 1 volume grand in-8 de 528 pages, avec 98 figures. — Cartonné, 105 fr. Broché..... 90 fr.
- Les Vernis,** par Ch. COFFIGNIER, lauréat de la Société chimique de Paris. 1921, 1 vol. gr. in-8 de 640 pages, avec 29 figures. — Relié, 90 fr. Broché..... 75 fr.
- Les Couleurs et Peintures,** par Ch. COFFIGNIER. 1924, 1 volume grand in-8 de 762 pages, avec 114 figures. — Cartonné, 110 fr. Broché. 95 fr.
- Petite Industrie chimique (Industrie des Métalloïdes),** par E. HACKSPILL, professeur à la Faculté des Sciences de Strasbourg, et REMY-GENNETRÉ, ingénieur-chimiste. 1926, 1 volume grand in-8 de 834 pages, avec 124 figures. — Relié, 115 fr. Broché..... 100 fr.
- Les Parfums.** Chimie et Industrie, par Paul JEAN-CARD, ingénieur des Arts et Manufactures. 1927, 1 volume grand in-8 de 887 pages, avec 89 figures. — Relié, 95 fr. Broché..... 80 fr.
- Fabrication industrielle de la Porcelaine,** par MARC LARCHEVÈQUE, ingénieur des Arts et Manufactures, 2 volumes grand in-8 :
- I. **Matières premières utilisées et leurs traitements.** 1928, 1 volume grand in-8 de 480 pages, avec 194 figures. — Relié, 95 fr. Broché. 80 fr.
- II. **Cuisson et Décoration.** 1929, 1 volume grand in-8 de 372 pages, avec 101 figures. — Relié, 85 fr. Broché..... 70 fr.
- Blanchiment, Teinture, Impression et Apprêts,** par M. P. LEDERLIN, administrateur-directeur des usines de Thaon. 1923, 1 volume grand in-8 de 543 pages, avec 145 figures et 2 planches colorées. — Relié, 100 fr. Broché..... 85 fr.
- Matières colorantes, l'Indigo et ses Dérivés,** par M. MARTINET, professeur à la Faculté des Sciences de Besançon. 1926, 1 volume grand in-8 de 834 pages, avec 124 figures et une planche d'échantillons. — Relié, 115 fr. Broché. 100 fr.
- Chimie des Colloïdes et applications industrielles,** par Louis MEUNIER, professeur de chimie industrielle à la Faculté des Sciences de Lyon. 1924, 1 volume grand in-8 de 336 pages. — Relié, 65 fr. Broché..... 50 fr.
- Les Procédés modernes de fabrication de l'Acide sulfurique,** par PIERRON, ingénieur E. P. C. I. 1928, 1 volume grand in-8 de 944 pages, avec 200 figures. — Relié, 165 fr. Broché.. 150 fr.
- Les Eaux usées,** par M. ROLANTS, chef de service à l'Institut Pasteur de Lille. 1925, 1 volume grand in-8 de 744 pages, avec 93 figures. — Relié, 105 fr. Broché..... 90 fr.
- Résines et Térébinthines. Les Industries dérivées,** par M. VEZES, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux, directeur-fondateur de l'Institut du Pin à Bordeaux, et DUPONT, directeur technique de l'Institut du Pin. 1924, 1 volume grand in-8 de 656 pages, avec 113 figures. — Relié, 105 fr. Broché..... 90 fr.
- Les Métaux précieux,** par J. VOISIN, ingénieur-chimiste. Préface de H. HANRIOT, directeur des essais à la Monnaie de Paris. 1922, 1 volume grand in-8 de 264 pages, avec 88 figures. — Relié, 60 fr. Broché..... 45 fr.

Bibliothèque pratique de l'amateur

Collection de volumes in-16 (19x14) de 96 pages, avec figures

- L'auto: Comment choisir et entretenir sa voiture,** par R. DUBÉUF. 1 vol. in-16 de 96 pages, avec 60 figures..... 6 fr.
- La Reliure d'amateur,** par Eloi RUEILER. 1 vol. in-16 de 96 pages, avec 41 figures..... 6 fr.
- Les Boissons chez soi: Préparez chez vous des boissons agréables,** par Pierre de TRÉVIERES. 1 vol. in-16 de 96 pages..... 6 fr.
- Les Parfums chez soi: Guide et Formulaire,** par L. FÉRVILLE. 1 vol. in-16 de 96 pages.. 6 fr.
- La Pyrogravure décorative,** par J.-A. CASSIGNOL. 1 vol. in-16 de 96 pages, avec 80 figures. 6 fr.
- Le Tapisier chez soi,** par Pierre de TRÉVIERES. 1 vol. in-16 de 96 pages, avec 36 figures. 6 fr.
- Nickelage, Argenture, Dorure,** par R. BRISSAUD. 1 vol. in-16 de 96 pages, avec 20 figures. 6 fr.
- Installations électriques,** par R. BRISSAUD. 1 vol. in-16 de 104 pages, avec 70 figures... 6 fr.
- L'Intérieur moderne, Ameublement, Entretien,** par Ed. LEFÈVRE. 1 vol. in-16 de 96 pages, avec 45 figures..... 6 fr.
- L'Etain et le Cuivre repoussés, gravés et ciselés,** par J.-A. CASSIGNOL. 1 vol. in-16 de 96 pages, avec 106 figures..... 6 fr.
- La Photographie d'amateur,** par R. CELLIER. 1 v. in-16 de 96 pages, avec figures..... 6 »
- Dorure, Encadrement, Technique des différents genres de gravure, Fausses estampes, Faux papiers,** par A. BROUQUET. 1 vol. in-16 de 96 pages, avec 37 figures..... 6 fr.
- L'Astronomie d'amateur,** par E. DOUBLET. 1 vol. in-16 de 91 pages, avec 26 figures..... 6 fr.
- Mesures et Calculs usuels,** par R. DUBÉUF. 1 vol. in-16 de 92 pages, avec 79 figures..... 6 fr.
- Verres, Emaux, Céramique, Décoration,** par S. ZABOROWSKA. 1 vol. in-16 de 90 pages, avec 50 figures..... 6 fr.
- Petite Mécanique usuelle,** par R. DUBÉUF. 1 vol. in-16, avec figures..... (Sous presse.)
- Comptabilité du particulier et du petit commerçant,** par M. TRIDON. 1 vol. in-16 de 152 pages, avec tableaux et modèles..... 12 fr.
- Machines agricoles, Entretien et Réparation,** par Ch. CLAROU. 1 vol. in-16 de 86 pages, avec 48 figures..... 6 fr.
- Enluminures, Paravents, Bannières, Eventails,** par S. ZABOROWSKA. 1 vol. in-16 avec figures. (Sous presse.)
- Tapis, Tapisseries,** par S. ZABOROWSKA. 1 vol. in-16 avec figures..... (Sous presse.)
- Le travail artistique du Cuir,** par J.-A. CASSIGNOL. 1 vol. in-16 de 96 pages, avec 88 fig. 6 fr.

Encyclopédie du Génie Civil et des Travaux Publics

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION de M. MESNAGER

Membre de l'Institut, Inspecteur général des Ponts et Chaussées

- Les Chemins de fer urbains parisiens**, par M. BISTTE, inspecteur général des Ponts et Chaussées. 1928, 1 volume grand in-8 de 525 pages, avec 248 figures. — Relié, 105 fr. Broché. 90 fr.
- Hydraulique générale et appliquée**, par D. EYDOUX, professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. 1921, 1 volume grand in-8 de 510 pages, avec 214 figures. — Relié, 85 fr. Broché. 70 fr.
- Hydraulique industrielle et Usines hydrauliques**, par D. EYDOUX. 1921, 1 vol. gr. in-8 de 538 p., avec 312 fig. Relié, 85 fr. Broché. 70 fr.
- Résistance des Matériaux**, analytique et graphique, par M. Bertrand DE PONTVOLIANT, professeur à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures. 2 volumes grand in-8:
- I. Théories générales, poutres droites isostatiques et hyperstatiques. 1924, 1 vol. gr. in-8 de 580 p., avec 168 fig. — Relié, 95 fr. Broché. 80 fr.
- II. Systèmes en treillis. Arcs isostatiques et hyperstatiques. Portiques à une travée et portiques continus. 1927, 1 vol. gr. in-8 de 728 p., avec 201 fig. — Relié, 115 fr. Broché. 100 fr.
- Ponts en maçonnerie**, par M. GAY, ingénieur des chemins de fer P.-L.-M. 1925, 1 volume grand in-8 de 704 pages, avec 522 figures. — Relié, 115 fr. Broché. 100 fr.
- Ponts et Comble métalliques**, par M. GODARD, professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1924, 1 volume grand in-8 de 664 pages, avec 506 figures. — Relié, 105 fr. Broché. 90 fr.
- Navigation intérieure**, par MM. JACQUINOT et GALLIOT, inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées. 2 volumes grand in-8:
- I. Canaux. 1923, 1 volume grand in-8 de 600 pages, avec 244 figures. — Relié, 95 fr. Broché. 80 fr.
- II. Le Réseau navigable français. 1927, 1 volume grand in-8 de 464 pages, avec 38 figures. — Relié, 85 fr. Broché. 70 fr.
- Travaux maritimes. La Mer et les Côtes**, par MM. DE JOLY, inspecteur général des Ponts et Chaussées, et LABOCHÉ, professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. 1923, 1 vol. gr. in-8 de 480 p., avec 196 fig. Relié, 85 fr. Broché. 70 fr.
- Traité de Géologie et de Minéralogie**, appliquées à l'art de l'ingénieur par L. DE LAUNAY, professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées et à l'Ecole nationale des Mines. 1922, 1 volume grand in-8 de 418 pages, avec 288 figures. — Relié, 85 fr. Broché. 70 fr.
- Les Chaussées modernes**, par P.-O. LE GAVRIAN, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées. 1922, 1 volume grand in-8 de 431 pages, avec 87 figures. — Relié, 85 fr. Broché. 70 fr.
- Matériaux de Construction. Les Pierres**, par M. MESNAGER, inspecteur général des Ponts et Chaussées, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers. 1923, 1 vol. gr. in-8 de 514 p., av. 110 fig. — Relié, 90 fr. Broché. 75 fr.
- Chemins de fer d'intérêt local. Tramways, Services publics, Automobiles**, par M. Louis VASSEUR, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. 2 volumes grand in-8:
- I. Législation et Réglementation. 1923, 1 vol. gr. in-8 de 729 p. — Relié, 95 fr. Broché. 80 fr.
- II. Construction et Exploitation. 1926, 1 volume grand in-8 de 784 pages, avec 332 figures. — Relié, 125 fr. Broché. 110 fr.

Encyclopédie d'Electricité Industrielle

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION de M. André BLONDEL

Membre de l'Institut

- Commutatrices et Convertisseurs rotatifs**, par BARRÈRE, ingénieur-conseil, chef de travaux à l'Ecole Centrale. 1931, 1 vol. gr. in-8 de 500 p., avec 371 fig. — Relié, 105 fr. Broché. 90 fr.
- Traction électrique et Chemins de fer électriques**, par M. BACHELLERY, ingénieur en chef à la direction des Chemins de fer du Midi. 1925, 1 volume grand in-8 de 445 pages, avec 224 figures. — Relié, 90 fr. Broché. 75 fr.
- Transformateurs statiques**, par P. BUNET, ingénieur-conseil. 1923, 1 vol. gr. in-8 de 632 p., avec 456 fig. — Relié, 105 fr. Broché. 90 fr.
- Centrales électriques**, par F. DROUIN, directeur technique aux distributions d'énergie de la Compagnie Générale d'Electricité. 1928, 1 volume grand in-8 de 602 pages, avec 242 figures. — Relié, 100 fr. Broché. 85 fr.
- Usines hydroélectriques**, par Ch.-L. DUVAL, maître de conférences à l'Ecole supérieure d'Electricité, suivi de Réglage des Groupes électrogènes, par J.-L. ROUTIN, maître de conférences à l'Ecole supérieure d'Electricité. 1925, 1 volume grand in-8 de 512 pages, avec 317 figures. — Relié, 100 fr. Broché. 85 fr.
- Piles primaires et Accumulateurs**, par MM. FÉRY, professeur à l'Ecole de Physique et de Chimie, CHENEVEAU et PAILLARD, chargés de cours à la Faculté des Sciences de Paris. 1925, 1 volume grand in-8 de 684 pages, avec 290 figures. — Relié, 105 fr. Broché. 90 fr.
- Radiotechnique générale**, par G. GUTTON, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy. 1926, 1 volume grand in-8 de 572 pages, avec 304 figures. — Relié, 140 fr. Broché. 125 fr.
- Applications de l'Electricité à la Marine**, par L.-J.-M. RICAUD, ancien ingénieur en chef de la Marine et Edm. MAROT, ingénieur en chef d'Artillerie navale de réserve, ancien professeur à l'Ecole d'application d'Artillerie navale. Complété par Appareils de Télécommande et de Télépointage, par J.-L. ROUTIN, maître de conférences à l'Ecole supérieure d'Electricité. 1930, 1 vol. gr. in-8 de 320 pages, avec 126 figures. — Relié, 75 fr. Broché. 60 fr.
- Essais de Machines électriques**, par M. GUILBERT, sous-directeur de l'Ecole supérieure d'Electricité. 1922, 1 volume grand in-8 de 560 pages, avec 264 figures. — Relié, 95 fr. Broché. 80 fr.
- Applications de l'Electricité aux Mines**, par M. HACAULT, ing. E.S.E. 1929, 1 vol. gr. in-8 de 592 p., avec 250 fig. — Relié, 105 fr. Br. 90 fr.
- La Décharge électrique dans le vide**, par Maurice LEBLANC, membre de l'Institut, et Maurice LEBLANC als. 1930, 1 volume grand in-8 de 375 p., avec 137 fig. — Rel., 85 fr. Br. 70 fr.
- Appareils et Installations télégraphiques**, par E. MONTORIOL, professeur à l'Ecole supérieure des Postes et Télégraphes. Préface de M. BLONDEL, membre de l'Institut. 1921, 1 vol. gr. in-8 de 625 p., avec 449 ng. — Rel., 95 fr. Br. 80 fr.
- Protection contre les effets nuisibles de l'Electricité**, par DE NEVILLE et HARDY, ingénieurs des télégraphes. 1928, 1 vol. gr. in-8 de 860 p., avec 279 fig. — Relié, 140 fr. Broché. 125 fr.
- Etude mécanique et Usage des Machines électriques**, par M. DE PISTOY, ingénieur en chef des usines Bréguet, professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité. 1924, 1 volume grand in-8 de 839 pages, avec 802 figures et planches. — Relié, 115 fr. Broché. 100 fr.
- Appareils et Installations téléphoniques**, par M. REYNAUD-BONIN, professeur à l'Ecole supérieure des Postes, Télégraphes et Téléphones. 1923, 1 volume grand in-8 de 487 pages, avec 292 ngures. — Relié, 90 fr. Broché. 75 fr.

Encyclopédie Minière et Métallurgique

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION de M. Léon GUILLET

Membre de l'Institut, Directeur de l'École centrale des Arts et Manufactures,
Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers

- Métallurgie du Cuivre et Alliages du Cuivre**, par MM. ALTMAYER et Léon GUILLET, professeurs à l'École centrale des Arts et Manufactures. 1925, 1 volume grand in-8 de 714 pages, avec 246 figures. — Relié, 105 fr. Broché..... 90 fr.
- Le Travail des Métaux aux Machines-Outils**, par M. J. ANDROUIN, ingénieur-conseil A. et M. 1929, 1 vol. gr. in-8 de 500 pages, avec 642 fig. Relié, 95 fr. Broché..... 80 fr.
- Fabrication de l'Acier au four Martin**, par M. BARBEROT, directeur des usines de Sainte-Marie et Gragny, de Saint-Dizier. 1923, 1 volume grand in-8 de 543 pages, avec 160 figures. — Relié, 85 fr. Broché..... 70 fr.
- L'Or et l'Argent**, par M. A. BORDEAUX, ingénieur civil des Mines. 1926, 1 vol. gr. in-8 de 597 p., avec 62 fig. — Relié, 100 fr. Broché.... 85 fr.
- Les Minerais. Etude, préparation mécanique, marché**, par Ch. BERTHELOT, ingénieur-conseil et J. ORCEL, docteur ès sciences, assistant de minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle. 1930, 1 vol. gr. in-8 de 544 pages, avec 156 fig. et 24 pl. hors texte. Relié, 105 fr. Broché... 90 fr.
- Les Combustibles dans l'Industrie moderne**, par A. BERTHELOT, ingénieur-conseil. 1928, 1 volume grand in-8 de 656 pages, avec 183 figures. — Relié, 105 fr. Broché..... 90 fr.
- Fonction commerciale des Usines métallurgiques**, par M. CARLIZO, ingénieur des Arts et Manufactures, professeur à l'École des Hautes-Études commerciales. 1924, 1 volume grand in-8 de 455 pages. — Relié, 85 fr. Broché.... 70 fr.
- Electro-Sidérurgie**, par M. CLAUDEL DE COUS-SERGUÉS, anc. direct. des Hauts Fourneaux aux Forges d'Allevard. 1923, 1 vol. gr. in-8 de 416 p. avec 150 fig. — Relié, 85 fr. Broché... 70 fr.
- La Fabrication des Ferro-Alliages, Fontes électriques et Métaux spéciaux**, par M. DOUTAGNE, ancien élève de l'École Polytechnique. 1925, 1 volume grand in-8 de 650 pages, avec 76 figures. — Cartonné, 110 fr. Broché..... 95 fr.
- Le Radium et les radio-éléments**, par M. Maurice CURIE, docteur ès sciences. Préface de Mme Pierre CURIE, professeur à la Faculté des Sciences de Paris. 1925, 1 volume grand in-8 de 354 pages, avec 96 figures. — Relié, 75 fr. Broché. 60 fr.
- Métallurgies du Plomb, du Nickel et du Cobalt**, par MM. FOURMENT, professeur adjoint à l'École Centrale, et GUILLET, directeur de l'École Centrale. 1926, 1 vol. gr. in-8 de 492 p., avec 288 fig. et 2 pl. — Relié, 110 fr. Broché... 95 fr.
- Traité de Métallurgie générale**, par Léon GUILLET, professeur à l'École Centrale et au Conservatoire des Arts et Métiers. 1921, 1 vol. gr. in-8 de 528 p., avec 335 fig. — Rel., 85 fr. Br. 70 fr.
- Dépôts métalliques directs et indirects**, par M. GASNIER, ingénieur-chimiste I. C. P. 1927, 1 volume grand in-8 de 460 pages, avec 121 figures. — Relié, 85 fr. Broché..... 70 fr.
- Forgeage et Laminage**, par M. Léon GRUZE, ingénieur des Mines. 1922, 1 volume grand in-8 de 362 p., avec 229 fig. — Relié, 70 fr. Broché 75 fr.

Encyclopédie de Mécanique appliquée

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION de M. Léon LECORNU

Membre de l'Institut, Professeur à l'École Polytechnique et à l'École des Mines

- Propriétés générales des Machines**, par Léon LECORNU, inspecteur général des Mines, président de l'Académie des Sciences. 1930, 1 vol. gr. in-8 de 232 p., avec 91 fig. — Rel. 55 fr. Br. 40 fr.
- Horlogerie**, par M. ANDRADE, correspondant de l'Institut, professeur à la Faculté de Besançon. 1924, 1 volume grand in-8 de 582 pages, avec 190 figures. — Relié, 105 fr. Broché.... 90 fr.
- Les Véhicules automobiles**, par M. BOYER-GUILLOU, chef de service principal au Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers. Préface de M. Ed. SAUVAGE, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers. 1926, 1 volume grand in-8 de 377 pages, avec 248 figures. — Relié, 90 fr. Broché..... 75 fr.
- Ventilateurs et Compresseurs**, par M. GRUSSARD, ingénieur en chef des Mines. 1926, 1 volume grand in-8 de 414 pages, avec 172 figures. — Relié, 90 fr. Broché..... 75 fr.
- Théorie du Navire**, par M. DOYÈRE, ingénieur général du Génie maritime. 1927, 1 vol. gr. in-8 de 666 p., avec 342 fig. — Rel. 105 fr. Br. 90 fr.
- Moteurs à combustion interne**, par Paul DUMAÑOIS, ingénieur du Génie maritime, professeur à l'École supérieure d'Aéronautique et de Mécanique. 1924, 1 volume grand in-8 de 517 pages, avec 196 figures. — Relié, 95 fr. Broché. 80 fr.
- Balistique intérieure**, par le général GOSSOT, ancien inspecteur de l'artillerie, et M. LIOUVILLE, ingénieur en chef des poudres. 1922, 1 v. gr. in-8 de 447 p. et tabl. — Relié, 85 fr. Broché... 70 fr.
- Les Mécanismes**, par M. HARTMANN, chef de travaux pratiques de mécanique à l'École Polytechnique. 1925, 1 volume grand in-8 de 452 pages, avec 388 figures. — Relié, 95 fr. Broché. 80 fr.
- Sous-Marins, Torpilles et Mines**, par M. LAUBREU, membre de l'Institut, président de la Société des Ingénieurs civils, ancien ingénieur en chef de la Marine, et STROH, ingénieur principal de la Marine. 1923, 1 volume grand in-8 de 810 pages, avec 343 figures et 10 planches de plans. — Relié, 115 fr. Broché..... 100 fr.
- Voitures et Wagons, Matériel, Freinage, Éclairage, Chauffage**, par J. NETTER, sous-directeur au Ministère des Travaux Publics. 1927, 1 volume grand in-8 de 602 pages, avec 484 figures. — Relié, 95 fr. Broché..... 80 fr.
- Turbines à vapeur**, par M. POINOT, professeur à l'École du Génie maritime. 1922, 1 volume grand in-8 de 340 pages, avec 181 figures et un diagramme h-texie. — Relié, 75 fr. Broché. 60 fr.
- Turbines hydrauliques**, par A. RATEAU, membre de l'Académie des Sciences; D. EYDOUX, directeur des Etudes à l'École Polytechnique, professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées; M. GABRIEL, directeur général des ateliers Foyret-Beylier et Piccard-Pictet. 1926, 1 volume grand in-8 de 692 pages, avec 178 figures. — Relié souple, 105 fr. Broché..... 90 fr.
- Dynamique des Solides**, par M. RÉVILLE, répétiteur à l'École Polytechnique. 1923, 1 volume grand in-8 de 508 pages, avec 135 figures. — Relié, 80 fr. Broché..... 65 fr.
- Production et Condensation de la Vapeur**, par M. SAUVAGE, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers. 1923, 1 vol. gr. in-8 de 361 p., avec 303 fig. — Relié, 75 fr. Broché... 60 fr.

Bibliothèque Professionnelle

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

M. René DHOMMÉE, *Inspecteur général de l'Enseignement technique*

I. — Manuels de l'Alimentation

<i>Boulangerie, pâtisserie</i>	25 »	<i>Industrie et comptabilité hôtelière.</i>	..
<i>Biscuiterie</i>	19 »	<i>Crémèrie (Lait, beurre, fromage)</i>	19 »
<i>Boucherie</i>	19 »	<i>Meunerie</i>	19 »
<i>Charcuterie, équarrissage.</i>		<i>Conserves de viandes, salaisons.</i>	
<i>Brasserie</i>	22 »	<i>Conserves de fruits et de légumes</i>	22 »
<i>Confiserie, chocolaterie.</i>		<i>Sucrierie</i>	19 »
<i>Cuisine.</i>		<i>Distillerie, liqueurs</i>	19 »
<i>Épicerie</i>	22 »	<i>Vins, cidres, poirés, eaux gaz.</i>	22 »

II. — Manuels du Bâtiment et des Travaux publics

<i>Architecture.</i>		<i>Pavage, carrelage, mosaïque</i>	22 »
<i>Charpente en bois.</i>		<i>Peinture en bâtiment, vitrerie.</i>	19 »
<i>Charpente en fer.</i>		<i>Papiers peints.</i>	
<i>Ciment, ciment armé.</i>	28 »	<i>Travaux publics (2 vol.)</i>	
<i>Fumisterie</i>	25 »	<i>Peinture en décors, filage, lettres</i>	19 »
<i>Chauffage, ventilation.</i>		<i>Plomberie, installations hygiéniques,</i>	
<i>Maçonnerie, ravèlement</i>	19 »	<i>zinguerie, couverture.</i>	
<i>Menuiserie, parquetage, treillage</i>	19 »	<i>Serrurerie, fer forgé.</i>	22 »
<i>Arpentage, métrage et vérification.</i>		<i>Taille des pierres.</i>	22 »
<i>Modelage, plafond, stuc.</i>		<i>Cantonnier.</i>	

III. — Manuels des Industries textiles, du Vêtement et de la Mode

<i>Bonneterie.</i>		<i>Chapellerie en feutre, paille, soie.</i>	
<i>Broderie mécanique, tulle, dentelle mé-</i>		<i>Modes</i>	22 »
<i>canique.</i>		<i>Chemiserie, lingerie.</i>	
<i>Dessin pour tissus, lecture, piquage du</i>		<i>Coiffure</i>	22 »
<i>dessin.</i>		<i>Coupe, confection pour hommes.</i>	
<i>Corderie, filet à la main, filet méca-</i>		<i>Couture.</i>	
<i>nique.</i>		<i>Coupe, confection pour femmes.</i>	19 »
<i>Filature</i>	22 »	<i>Dentelle et broderie à la main.</i>	22 »
<i>Tissage (3 vol.)</i>	72 »	<i>Fleurs et plumes.</i>	
<i>Rubannerie, passementerie, lacet.</i>	22 »	<i>Mercerie.</i>	
<i>Blanchissage, repassage.</i>		<i>Fourrures, pelleterie</i>	19 »

IV. — Manuels des Industries d'art

<i>Bijouterie, joaillerie, orfèvrerie.</i>		<i>Pyrogravure, enluminure. Peinture au</i>	
<i>Boutonnerie, peignes</i>	19 »	<i>pochoir. Cuivre et étain repoussés.</i>	
<i>Bronze d'art, ciselure.</i>	19 »	<i>Gravure, décoration des métaux.</i>	
<i>Dessin d'ornement, composition déco-</i>		<i>Lutherie, pianos, orgues, accord.</i>	
<i>orative.</i>		<i>Lunetterie, instruments d'optique.</i>	
<i>Dessin industriel.</i>		<i>Jouets</i>	19 »
<i>Décoration du cuir, peinture sur étoffes.</i>			

V. — Manuels des Industries du Papier et du Livre

<i>Cartonnage.</i>		<i>Gravure, héliogravure, photogravure.</i>	
<i>Commis papetier</i>	22 »	<i>Photographie.</i>	
<i>Imprimerie, typographie, alliage.</i>		<i>Reliure</i>	22 »
<i>Lithographie.</i>		<i>Industrie du papier.</i>	

VI. — Manuels des Industries du Bois et de l'Ameublement

<i>Abatage des bois, sciage, cubage, sabots.</i>	<i>Moulures, Encadrement.</i>	
<i>Balais, brosses, soufflets, cannes, emballage.</i>	<i>Tapissier-décorateur</i>	22 »
<i>Charron-forgeron</i>	<i>Tournage du bois</i>	19 »
<i>Peintre en voitures.</i>	<i>Sculpture sur bois</i>	19 »
<i>Ebénisterie, dorure, laque, marqueterie.</i>	<i>Tonnellerie</i>	19 »
<i>Industrie du liège</i>	<i>Boissellerie.</i>	
	<i>Vannerie</i>	22 »

VII. — Manuels des Industries chimiques, Céramique, etc.

<i>Briques, tuiles, produits réfract.</i>	22 »	<i>Droguerie, herboristerie.</i>	
<i>Faïences</i>	22 »	<i>Industrie du gaz, appareillage...</i>	19 »
<i>Porcelaine.</i>		<i>Parfumerie</i>	19 »
<i>Couleurs et vernis</i>	19 »	<i>Teinturerie, apprêtage (3 v.).</i>	25 »
<i>Peintures et enduits</i>	19 »	<i>Verrerie, cristallerie, miroiterie, gravure sur verre.</i>	
<i>Encres, cirages, colles</i>	22 »	<i>Artificier</i>	22 »
<i>Fabrication des produits chimiques (2 v.).</i>			

VIII. — Manuels des Cuirs et Peaux, du Caoutchouc

<i>Bourrellerie, sellerie.</i>		<i>Ganterie</i>	22 »
<i>Caoutchouc, gutta-percha, gomme factice.</i>		<i>Cordonnerie</i>	22 »
<i>Chamoiserie, maroquinerie, gainerie.</i>		<i>Tannage, mégisserie, corroyage..</i>	25 »

IX. — Manuels de Mécanique

<i>Ajustage (3 vol.). Tome I.</i>	19 »	<i>Chaudronnerie</i>	25 »
<i>Armurerie.</i>		<i>Chemins de fer (2 vol.).</i>	28 »
<i>Automobiles (2 vol.): a) Construction, différents types:</i>	19 »;	<i>Cycles, motocyclettes</i>	22 »
<i>entretien</i>	19 »	<i>Constructions aéronautiques</i>	19 »
<i>Machines (2 vol.): a) Description:</i>	28 »;	<i>Horlogerie.</i>	
<i>b) Conduite, entretien, montage</i>	19 »	<i>Instruments de chirurgie, orthopédie.</i>	
<i>Machines marines. Constructions navales.</i>		<i>Mécanicien frigoriste</i>	19 »
		<i>Mécanique et tournage de précision.</i>	

X. — Manuels d'Electricité

<i>Electrolyse, galvanoplastie, fours électriques</i>	22 »	<i>Stations centrales, transport d'énergie</i>	19 »
<i>Installat. électr. particulières...</i>	19 »	<i>Construction de réseaux d'énergie</i>	19 »
<i>Installations électriques industrielles (2 vol.)</i>	38 »	<i>Télégraphie, téléphonie</i>	19 »
<i>Traction électr., moteurs électr...</i>	28 »	<i>T. S. F.</i>	19 »
		<i>Appareils de mesures électriques.</i>	19 »

XI. — Manuels des Mines et de la Métallurgie

<i>Acélières.</i>		<i>Prospection</i>	28 »
<i>Carrières, ardoisières, plâtrières.</i>	22 »	<i>Forges</i>	22 »
<i>Coutellerie, taillanderie.</i>		<i>Fonderie</i>	25 »
<i>Fabrique d'aiguilles, épingles, plumes</i>	19 »	<i>Maréchalerie</i>	19 »
<i>Ferblanterie</i>	19 »	<i>Machines agricoles.</i>	
<i>Lampisterie, poélerie.</i>		<i>Mineur</i>	22 »
<i>Forgeron</i>	25 »	<i>Modèlerie</i>	22 »
		<i>Quincaillerie, clouterie, tréfilerie.</i>	

XII. — Manuels des Professions commerciales

<i>Assurances</i>	28 »	<i>Vente et représent. commerciale.</i>	22 »
<i>Organisat. commerciale moderne.</i>	19 »	<i>Publicité commerciale</i>	19 »
<i>Banque</i>	22 »	<i>Transports (voie de terre, fer, eau, air)</i>	22 »
<i>Commissionnaire</i>			

BETTERAVE ET SUCRERIE DE BETTERAVE

PAR E. SAILLARD

*Professeur à l'École nationale des industries agricoles de Douai,
Directeur du Laboratoire du Syndicat des fabricants de sucre de France*

3^e édition. 1923, 2 volumes in-18 de 1.062 pages, avec 144 figures. — Brochés,
36 fr.; cartonnés..... 48 fr.

I. **Les méthodes d'analyse. Le contrôle chimique et la fabrication.** —
1 volume in-18 de 470 pages, avec 47 figures.... Br. 18 fr. Cart. 24 fr.

II. **Production de la betterave et technique sucrière.** — 1 volume in-18
de 592 pages, avec 97 figures Br. 18 fr. Cart. 24 fr.

MANUEL DE SUCRERIE TECHNOLOGIE SUCRIÈRE

PAR M. ROUBERTY

*Ancien Chimiste aux raffineries Say et Lebaudy,
Professeur de Chimie industrielle aux laboratoires Bourbouze*

1922, 1 volume in-18 de 296 pages, avec 41 figures. — Cartonné..... 19 fr.

MANUEL DU CHIMISTE DE SUCRERIE, DE RAFFINERIE ET DE GLUCOSERIE

PAR D. SIDERSKY

Ingénieur Chimiste

1909, 1 volume in-18 de 300 pages, avec 72 figures..... 18 fr.

Les Sucres, le Café, le Thé et le Chocolat

PAR A. C. GIRARD

Directeur de l'École pratique d'industrie de Narbonne

1922, 1 vol, in-16 de 96 pages, avec 19 figures..... 5 fr.

Plantes à sucre et Plantes stimulantes

PAR H. JUMELLE

Professeur à la Faculté des Sciences de Marseille

1915, 1 vol. in-16 de 127 pages, avec 42 figures..... 5 fr.

Ajouter pour frais d'envoi : France, 10 p. 100 — Étranger, 15 p. 100