

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE LA
FABRICATION DU SUCRE
DE BETTERAVE

COURBEVOIE

IMPRIMERIE E. BERNARD ET C^{ie}

14, RUE DE LA STATION, 14

BUREAUX A PARIS : 29, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS

DEUXIÈME ÉDITION

TRAITÉ

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE LA

FABRICATION DU SUCRE DE BETTERAVE

PAR

PAUL HORSIN-DÉON

INGÉNIEUR-CHIMISTE

PREMIER VOLUME



PARIS

E. BERNARD ET C^{ie}, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
29, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 29

1900

AVANT-PROPOS

DE LA 1^{re} ÉDITION

Un grand industriel m'exprimait, un jour (c'était en 1869), le peu d'estime qu'il avait pour les théoriciens dont les œuvres étaient toujours en contradiction, selon lui, avec la pratique. Je lui répondis que la pratique et la théorie devraient marcher de pair, et que si la seconde ne suit pas toujours la première, c'est que nous sommes trop souvent sous le coup de notre ignorance, qui ne voit que rarement les choses en leur entier ; que si dans l'expression théorique d'un fait, on pouvait introduire tous les éléments divers qui l'entourent et l'amènent au résultat final et réel, le calcul donnerait exactement le résultat obtenu dans la pratique. Malgré son dédain affecté pour les théoriciens, ce grand industriel avait un laboratoire bien monté, dans lequel les études théoriques prenaient une large place à côté de celles de l'industrie. J'y eus à résoudre de nombreux problèmes sur la fabrication du sucre, et comme il est nécessaire, dans ce cas, de s'entourer des renseignements de la science, j'achetai des livres. J'en avais beaucoup, j'en feuilletai plus encore, et rarement je trouvai immédiatement ce que je cherchais. Après beaucoup d'études, après plusieurs campagnes passées en fabrique et dans différents pays, je me trouvai possesseur d'un certain nombre de notes intéressantes, qui me permirent même parfois d'énoncer avec assez de succès mon avis sur quelques questions scientifiques et pratiques, soulevées, dans le *Journal des Fabricants de sucre*, par les industriels amis de la vérité. Mais ces discussions même prouvent une chose, c'est qu'il manque un livre qui réponde aux besoins immédiats du chimiste-fabricant laborieux qui cherche et voudrait trouver rapidement la

réponse à ces questions multiples, sous peine de voir efflorer le fruit de son imagination. C'est malheureusement le défaut de tous ces beaux livres pleins de gravures et qui coûtent si cher, de n'apprendre que ce que chacun peut savoir après une simple tournée dans une fabrique, sans y ajouter un mot de théorie. Nous croyons donc rendre un service à la génération laborieuse des jeunes chimistes sucriers auxquels ce livre s'adresse, en leur livrant ces notes réunies en plus de dix années, fruits du travail de laboratoire et d'usine, et qui n'étaient pas destinées d'ailleurs, dans le principe, à voir le jour.

Les ingénieurs de sucrerie trouveront aussi des données sérieuses sur lesquelles ils pourront baser les calculs des dimensions de tous leurs appareils; car j'ai eu la bonne fortune de vivre dans l'intimité de l'un des hommes les plus forts en la matière, de M. Rillieux, l'inventeur du triple-effet. C'est grâce à son commerce constant que j'ai pu rédiger le chapitre qui traite exclusivement des appareils à effets multiples, sur lesquels aucun auteur n'a jamais rien écrit de précis, comme je le relate dans un paragraphe spécial. Le triple-effet est l'âme économique de la sucrerie: c'est pourquoi je me suis si longuement étendu sur sa construction généralement si peu en rapport avec ce qu'elle devrait être. J'ai également parlé de l'emploi de la vapeur en sucrerie, de tous les points où elle se perd, et où l'on devrait la recueillir; car comme le disait dans son langage familier le grand industriel dont je parlais dans mes prémisses: « Ce sont les pièces de cent sous du fabricant qui s'échappent dans l'air, avec le moindre jet de vapeur. »

Puissé-je avoir fait une œuvre assez précise et assez claire pour être de quelque secours à notre belle industrie française, à laquelle je la dédie.

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

RAPPORT

Fait par M. AIMÉ GIRARD au nom du Comité des Arts chimiques sur le TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE DE LA FABRICATION DU SUCRE, par M. Paul HORSIN-DÉON (1^{re} édition).

M. Paul Horsin-Déon a soumis à l'appréciation de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale un livre qu'il a récemment publié sous le titre de : *Traité théorique et pratique de la fabrication du sucre, guide du chimiste fabricant.*

A ce livre la Société ne pourrait manquer de faire bon accueil : c'est, en effet, une œuvre personnelle et consciencieuse.

Attaché pendant de longues années au laboratoire d'études de la maison Cail et C^{ie}, mis ainsi en rapport avec les inventeurs des procédés de fabrication les plus variés, appelé notamment à suivre dans son développement le procédé de la double carbonatation, chargé plus tard de la création et de la direction d'une fabrique de sucre en Russie, faisant enfin aujourd'hui partie du personnel scientifique des laboratoires de l'administration des Douanes, M. Paul Horsin-Déon a su, dans les positions diverses qu'il a successivement occupées, faire une ample moisson de faits intéressants, aussi bien au point de vue des théories qu'au point de vue des pratiques de l'industrie sucrière.

C'est cette moisson que M. Paul Horsin-Déon nous apporte aujourd'hui, et la Société qui, au début de ce siècle, a si largement aidé la fabrication naissante du sucre de betteraves, considérera certainement comme un devoir, alors que cette fabrication traverse en France de cruelles

épreuves, de venir en aide à une œuvre qui, comme celle de M. Horsin-Déon, vient mettre à sa disposition des armes nouvelles pour lutter.

Il ne faut pas craindre de le répéter, en effet ; si les causes auxquelles est dû le prodigieux développement qu'ont pris depuis quatre ou cinq ans les fabrications allemandes et autrichiennes sont multiples, au premier rang parmi ces causes, il faut certainement placer la connaissance approfondie que les fabricants de ces pays possèdent de leur art. Tous, élevés à l'école de la science, sont familiers aussi bien avec les conditions dans lesquelles la betterave produit le sucre, qu'avec les phénomènes dont le travail des jus sucrés s'accompagne.

Il n'en est malheureusement pas toujours ainsi dans notre pays ; et si, parmi nos fabricants, il en est de particulièrement éclairés, il en est beaucoup aussi que la science ne guide point.

C'est en suivant la voie scientifique cependant, aussi bien dans le domaine agricole que dans le domaine industriel, et en suivant cette voie seulement, que la fabrication française peut espérer reconquérir dans l'avenir la primauté qu'elle a aujourd'hui perdue.

La voie dans laquelle le livre de M. Horsin-Déon nous engage est précisément celle de la science. Dans l'ouvrage dont il vient de doter l'industrie sucrière, c'est bien plutôt à expliquer les procédés et les phénomènes qu'à les décrire qu'il s'attache, et l'on ne saurait conseiller un guide meilleur au fabricant soucieux de se rendre compte des faits que le travail de chaque jour amène sous ses yeux.

On y compte trois parties principales : Dans la première, au lieu de se contenter, comme beaucoup l'avaient fait avant lui, d'énumérer et de caractériser par quelques propriétés les matières si diverses dont le corps de la betterave est formé, l'auteur prend ces matières une à une, et, pas à pas, les suit à travers la série tout entière des opérations auxquelles le jus sucré se trouve soumis ; il recherche quelle est, pour chacune des phases ainsi parcourues, l'influence que ces matières exercent sur le résultat final ; et, des observations souvent personnelles qu'il rapporte et qu'il développe, résultent, pour le fabricant, des enseignements utiles. Chemin faisant, il s'attache à bien faire connaître les produits successifs : jus, sirops, masses cuites, poudres turbinées, mélasses que la fabrication obtient, comme aussi à spécifier les causes qui peuvent, ou bien en faire varier la qualité, ou bien en déterminer l'altération.

A cette première partie toute théorique, succède l'exposé pratique des procédés, la description des engins et des machines auxquels font appel, non seulement l'industrie sucrière, mais même la culture de la betterave. Le lecteur assiste ainsi successivement au travail du sol, aux semailles, à la récolte, etc., au travail des râpes et des presses, aux opérations de la diffusion, au traitement des jus sucrés, à leur transformation en sucre cristallisé, etc. Deux questions surtout sont, dans ce chapitre traitées avec un soin particulier : l'une est celle de la double carbonatation, l'autre celle de la marche du triple-effet, questions dont M. Horsin-Déon a pu, grâce à ses relations avec MM. Possoz et Périer d'une part, d'une autre avec M. Rillieux, l'inventeur trop longtemps oublié du triple-effet, poursuivre, en diverses circonstances, l'étude approfondie.

La troisième partie du livre est loin d'être la moins utile. Elle traite des procédés d'analyse actuellement employés pour fixer la composition des matières sucrées. L'auteur s'est placé à ce point de vue, malheureusement trop vrai, que, pour la plupart des fabricants, ces procédés sont lettre close, et que même parmi les jeunes gens attachés aux usines comme essayeurs, il n'en est qu'un petit nombre qui soient préparés, par une instruction scientifique suffisante, à comprendre la marche du saccharimètre, la réduction des sels de cuivre, etc. Il a repris alors, et exposé en détail, les principes scientifiques sur lesquels reposent les phénomènes chimiques et physiques qui forment la base des procédés employés à l'analyse des matières sucrées. Et par cet exposé, il a rendu facile ensuite l'intelligence et la pratique des procédés mêmes.

En résumé le *Guide du fabricant de sucre* que M. P. Horsin-Déon a soumis à l'appréciation de la Société, a paru à votre comité des arts chimiques, et surtout parce qu'il est l'œuvre personnelle d'un théoricien et d'un praticien à la fois, digne de vos encouragements. L'œuvre est bien conçue, conduite avec soin et avec conscience. Elle est de nature à fournir aussi bien au fabricant de sucre qu'à l'ingénieur et au contre-maître de sucrerie, des renseignements utiles, et, pour ces diverses causes, votre comité a l'honneur de vous proposer de remercier M. P. Horsin-Déon de l'hommage qu'il vous en a fait, et de décider l'insertion du présent rapport dans le *Bulletin* de la Société.

Approuvé en séance, le 22 juin 1883.

Signé : AIMÉ GIRARD, rapporteur.

AVANT-PROPOS

DE LA 2^{me} EDITION

Quand je publiai la première édition de cet ouvrage, il n'existait aucun livre récent sur la Fabrication du sucre.

Est-ce pour cette raison que dans les trois premières années de son existence mon modeste volume vit plus de la moitié de son tirage enlevé par les fabricants et les chimistes de sucrerie de tous pays? Est-ce aussi parce que j'avais touché juste en réunissant mes notes personnelles en une sorte de barème à l'usage des chimistes, aussi désireux que je l'étais moi-même de voir présenter dans un ensemble les théories éparses que publiaient les journaux périodiques? Est-ce encore parce que j'avais coordonné ces théories d'après mes vues personnelles d'une façon suffisamment exacte et claire pour que chacun pût y trouver la réponse à ses doutes ou le point de départ d'une discussion sérieuse s'il ne partageait pas ma façon de penser? Est-ce enfin à cause de tout cela réuni?

Le fait est que mon œuvre s'écoula vite et que si quelques erreurs dues à mon inexpérience d'alors se sont glissées dans quelques chapitres, mes lecteurs ne m'en ont pas tenu trop de sévérité et je les en remercie.

Depuis 1882, époque à laquelle a paru cet ouvrage, quelques révolutions dans les méthodes de travail se sont opérées en sucrerie. La diffusion alors à son enfance s'est complètement substituée aux presses; l'évaporation, grâce à M. Rillieux et aux efforts réunis de ses collaborateurs, a pris une place prépondérante dans l'agencement des usines en s'adjoignant le chauffage à effets multiples de tous les postes de l'usine; la filtration mécanique a totalement remplacé l'emploi du noir animal; la cuite Steffen et la cristallisation en mouvement sont venues bouleverser les idées reçues jusqu'à présent sur la fin du travail des sirops et

le turbinage des sucres. Enfin l'acide sulfureux fort redouté avant 1882 a pris sa place parmi les réactifs courants de l'usine.

Au point de vue de la théorie pure, aucune innovation importante ne s'est introduite dans tout ce que j'avais écrit en 1882. L'adoption générale de la diffusion a changé seule quelque peu la carbonatation, quelques sucres nouveaux ont été découverts qui modifient légèrement les méthodes d'analyse, mais le fond même de la théorie des transformations chimiques des jus n'a subi aucune altération ; aussi n'avons-nous que peu de choses à y ajouter.

Les questions de vapeur seules ont complètement changé d'allure. Les formules que j'avais énoncées se sont trouvées incomplètes. Je leur ai ajouté l'un des termes inconnus qui leur manquait, c'est-à-dire la résultante des lois de condensations que j'ai découvertes et qui rendaient toute appréciation de l'évaporation par la vapeur défectueuse. Dès lors tous les phénomènes d'évaporation et de chauffage devenaient appréciables à l'avance.

J'ai donc donné un développement tout spécial à cette question qu'aucun auteur n'avait traitée avant moi.

J'ai changé dans cette nouvelle édition la disposition générale des chapitres. La division en deux parties, l'une théorique et l'autre pratique, forçait à des redites et rendait les recherches plus longues.

J'ai donc placé la théorie et la pratique l'une après l'autre dans chacune des phases de la fabrication. Je pense que nos lecteurs m'en sauront gré, et j'ai supprimé les notes que j'ai insérées dans le corps de l'ouvrage, faisant ainsi un tout plus homogène.

Je souhaite à cette nouvelle édition le même succès qu'à la première, malgré les ouvrages de grand mérite qui ont paru depuis 1882 sur la fabrication du sucre, m'étant efforcé de tenir mon œuvre à la hauteur des progrès sucriers, tout en conservant ma liberté d'appréciation sur la valeur des procédés nouveaux qui ont pris naissance depuis que j'ai écrit mon premier volume.

P. HORSIN-DÉON.

Paris 1900.

PRÉFACE DES ÉDITEURS

Le succès mérité qu'a obtenu le livre de M. P. Horsin-Déon imprimé en 1882 dans nos ateliers, nous a encouragés à faire paraître pour la grande solennité de l'Exposition de 1900 une seconde édition de cet ouvrage.

L'auteur a supprimé tout ce qui, dans sa première édition avait rapport aux presses et autres procédés qui ne sont plus en usage dans la sucrerie. Par contre il s'est étendu sur les systèmes de fabrication qui n'étaient que dans leur enfance en 1882 ou qui ont vu le jour depuis, cherchant à résoudre les problèmes soulevés par ces inventions et par celles qui ne sont encore qu'à l'état naissant dans l'industrie sucrière.

Nous espérons que le public fera bon accueil au travail consciencieux et de longue haleine qu'est le nouveau *Traité de la Fabrication du Sucre* de M. HORSIN-DÉON, et c'est avec confiance que nous le lui présentons aujourd'hui.

E. BERNARD et C^{ie}.

TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE LA
FABRICATION DU SUCRE
DE BETTERAVE

INTRODUCTION

BETTERAVES

**Origine, espèces et leur rendement, formation du sucre
dans la betterave.**

De toutes les plantes saccharifères, nous n'étudierons dans ce travail que la betterave. Il n'y a pas longtemps que cette racine s'est répandue comme plante saccharifère, la canne fournissant dans les pays chauds tout le sucre suffisant pour la consommation minime qu'on en faisait jadis. Ce n'est que vers 1747, en Prusse, que Margraff découvrit dans la betterave la présence du sucre cristallisable. Achard, autre chimiste allemand non moins célèbre, ne s'occupa de son extraction qu'en 1796, et donna des méthodes propres à ce travail, méthodes bien imparfaites, mais qui portèrent déjà des fruits. La France ne s'y attacha guère que vers 1812; après 1815, les fabriques de sucre se multiplièrent sous l'impulsion savante des Mathieu de Dombasle, Chaptal, Crespel Delliisse; en 1825, parurent divers traités et entre autres celui de Dubrunfaut, sur *l'Art de fabriquer le sucre de betteraves*, ouvrage resté classique. Dès lors, la progression ascendante de la fabrication ne s'arrêta plus. Aux

procédés primitifs de la défécation, se joignirent tour à tour l'emploi du noir animal et celui de l'acide carbonique, que Rousseau rendit le premier praticable; puis les appareils d'évaporation et de cuite dans le vide firent leur apparition dans les usines, que le génie profond de notre grand industriel Cail éleva au degré d'établissements mécaniques de premier ordre, et auxquels il fit prendre, sous sa puissante impulsion, ainsi qu'à la fabrication du sucre tout entière, les énormes proportions que nous voyons aujourd'hui.

Née en Allemagne, la fabrication du sucre de betterave se propagea d'abord en France, où elle devint une magnifique industrie que tous nos voisins imitèrent, même les Allemands. Et cependant l'Allemagne était prédestinée pour cette culture, car les racines y poussent admirablement. C'est d'Allemagne que la betterave fut importée en France, en Belgique, dans les Flandres. Mais, alors, elle n'était employée que comme plante fourragère, et c'est sur cette plante fourragère que l'on fit les premiers essais d'extraction du sucre; aussi eut-on à vaincre de grandes difficultés, car nous savons aujourd'hui que le choix d'une bonne betterave bien cultivée favorise considérablement une bonne fabrication. Mais tout était à faire alors, choix de graines, d'engrais et de mode de culture, aussi bien qu'invention de bons procédés propres à extraire le sucre; aussi ne devons-nous pas nous étonner si les premiers essais furent si difficiles, tant était complexe le problème.

La betterave est une plante bisannuelle, à racine pivotante, du genre *Beta*, de la pentandrie-digynie de Linné, ou bien de la famille des Chénopodées, tribu des Cyclolobées de De Candolle, Atriplicées de De Jussieu. La première année, elle développe sa racine et ses feuilles; la seconde, elle pousse une longue tige porte-graine. Quelquefois la betterave monte en graines la première année, mais le fait est anormal.

Il existe plusieurs variétés de betterave, les unes à chair blanche, les autres colorées en jaune ou en rouge. Les premières seules sont utilisables pour la fabrication du sucre. Une bonne betterave doit avoir sa racine régulière, allongée, bien pivotante, sans racines adventives; un tissu blanc et compact, un collet petit, sortant peu de terre et bien plein; elle doit être lourde sous un petit volume, et ne doit pas dépasser un kilogramme. Dans ces conditions, le jus est toujours très sucré et peu chargé en matières étrangères.

La racine la plus ancienne est la betterave blanche de Silésie. Depuis quelques années, les betteraves ont été cultivées par d'habiles agriculteurs qui les ont perfectionnées au point de vue saccharifère, et ont transformé les espèces de manière à pouvoir les acclimater dans chaque

contrée betteravière. C'est qu'en effet, telle racine ne réussit pas aussi bien que telle autre dans un terrain donné; les unes y dépérissent, tandis que les autres s'y chargent en sucre, au grand succès du fabricant. Il faut donc rechercher dans chaque localité, pour l'y semer, l'espèce propre au climat. Des essais comparatifs indiqueront mieux que toute autre observation, l'espèce qu'il est bon de choisir.

Quoiqu'elles dérivent toutes de la betterave blanche de Silésie, les betteraves peuvent être classées en allemandes et en françaises. On préfère les racines qui donnent les plus gros rendements en poids à l'hectare, en même temps que la plus grande somme de sucre, vu l'importance que prend partout la nutrition du bétail par la pulpe, vu aussi le mode d'achat et le mode d'impôt. Si l'on met de côté l'abus que les cultivateurs ont fait de ces données, au point de tuer la fabrication, on remarque cependant qu'avec de l'intelligence et de la science, ces gros rendements donnent aussi une quantité de sucre considérable à l'hectare; mais le jus retiré de ces racines, est moins pur et plus difficile à travailler.

Avant la loi de 1884, le sucre fabriqué en France, n'était soumis à l'impôt qu'en sortant achevé de la fabrique. Le fabricant pouvait employer toute betterave raisonnablement riche en sucre, n'ayant à consulter que sa propre convenance combinée avec celle de ses fournisseurs, les ressources de sa localité et le rapport du rendement obtenu avec les frais de transport et de fabrication.

Les variétés cultivées alors étaient la Betterave blanche à sucre de Silésie, qui était presque la seule usitée il y a cinquante ans, les B. de Magdebourg, de Breslau, Electorale, Impériale et surtout les B. à collet vert et à collet rose.

Mais la loi de 1884 ayant disposé que l'impôt serait désormais perçu sur les betteraves elles-mêmes entrant dans la fabrique, toute betterave s'est trouvée forcément exclue de la fabrique qui ne rend pas au moins 7,75 % de sucre par tonnes de racines travaillées.

Voici quelles sont, actuellement, les variétés les plus cultivées :

Betterave blanche à sucre améliorée Vilmorin (fig.1). Racine nette, tout à fait enterrée, à collet courtement conique; feuilles petites, nombreuses, à limbes en losange, planes ou très légèrement ondulées sur les bords; peau rugueuse, un peu chagrinée; la chair, si l'on coupe la racine transversalement, apparaît compacte, marquée de zones concentriques, étroites, serrées et ayant l'aspect du bois de chêne. Cultivée dans de bonnes conditions, elle donne couramment 16 % et plus de sucre du

poids de la racine et, en outre, se conserve sensiblement mieux qu'aucune autre race.

Betterave blanche à sucre de Klein-Wanzleben (fig. 2). — Les caractères distinctifs de cette variété sont, avant tout, la forme courte et large du collet de la racine, la teinte vert blond de son feuillage, qui est en même temps frisé et fortement ondulé sur les bords. Cette race est vigoureuse, relativement productive, d'une végétation soutenue et d'une maturité un peu tardive.

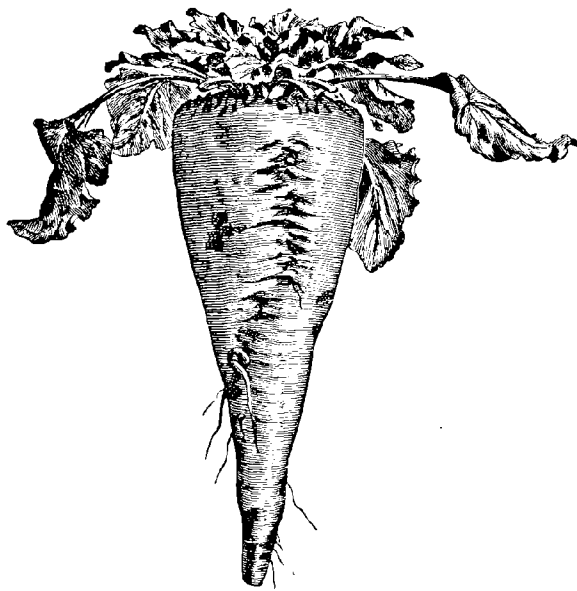


Fig. 1.

On considère qu'elle convient surtout aux terres de plateau, plutôt sèches qu'humides et de richesse moyenne, tandis que la B. Vilmorin est préférable dans les terres de vallées et dans toutes celles dont la richesse en azote est considérable.

Il en existe, suivant les producteurs, des races plus ou moins volumineuses, et inversement plus ou moins riches en sucre. La moyenne, sous ce dernier rapport, se tient aux environs de 14 à 15 %.

Betterave blanche à sucre française riche (fig. 3). — Se distingue très nettement des autres variétés par la forme très longue et très effilée de

sa racine; par l'étroitesse de son collet, par son feuillage dressé, très uni, nullement frisé et toujours plus ou moins dressé, même aux approches de la maturité. C'est une race qui convient particulièrement aux terrains profonds, à la fois légers et frais, et qui demande une préparation plus profonde du sol que les deux races précédentes.

La richesse s'en élève souvent jusqu'à 16 % du poids de la racine, comme dans la B. améliorée Vilmorin, mais la race dans son ensemble

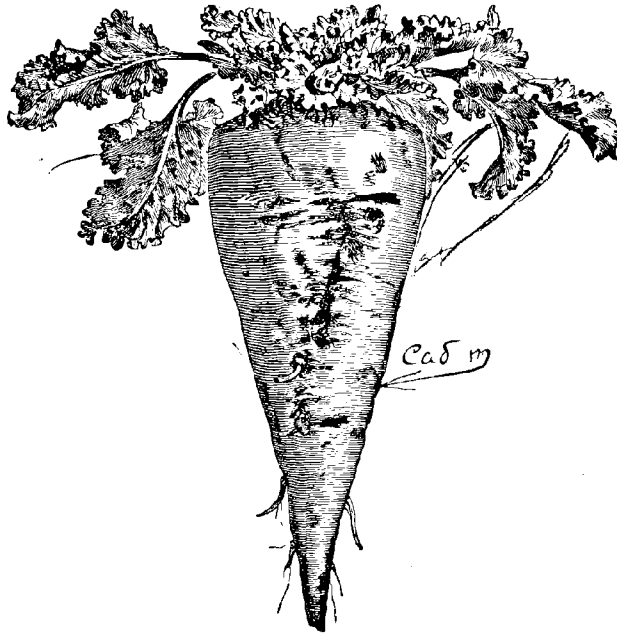


Fig. 2.

ne présente pas la même régularité dans la richesse et la pureté du jus.

La betterave à sucre à collet vert, race Brabant, (fig. 4) et la betterave à sucre à collet rose (fig. 5), peuvent, dans de bonnes années, être aussi utilisées comme betteraves riches; ce sont celles avec lesquelles on obtient, très souvent, les rendements maxima de sucre à l'hectare, mais elles ne les donnent malheureusement pas sous une forme suffisamment concentrée.

On les utilise surtout maintenant comme betteraves de distillerie et ce sont les plus recommandables pour cet usage.

Il y aurait certainement bien d'autres races qu'on pourrait mentionner si l'on voulait consulter, tant en France qu'à l'étranger, les prospectus des nombreux producteurs de graines de betteraves, mais toutes ces races dérivent de la Vilmorin améliorée ou de l'une des espèces que nous venons d'énumérer, ayant été appropriées au climat sous lesquels on les cultive.

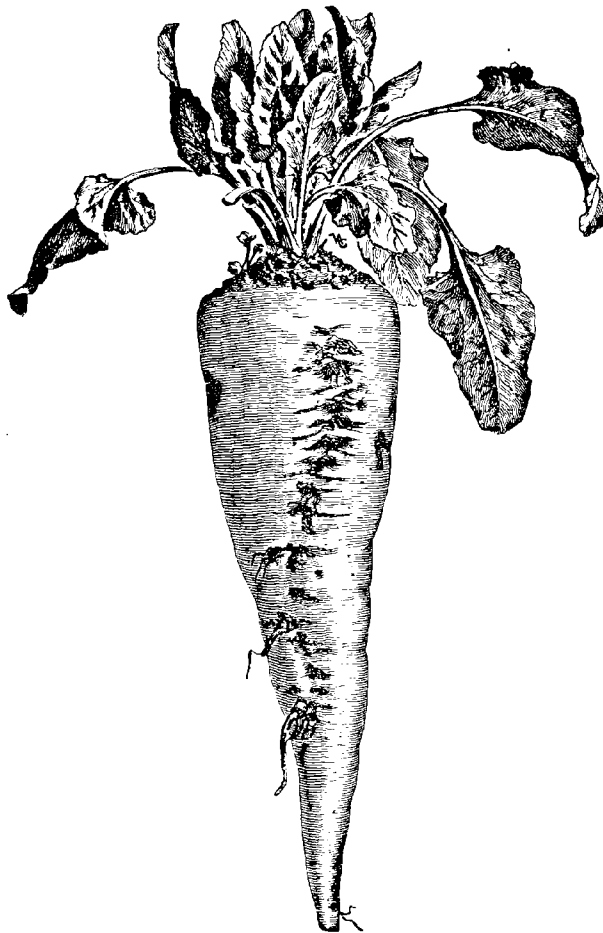


Fig. 3.

La betterave doit être employée la première année de sa culture, car dans cette première année, elle accumule dans son sein tous les éléments propres à nourrir la graine l'année suivante ; parmi ces éléments se trouve le sucre, qui atteint son maximum en automne, au moment des dernières grandes chaleurs.

Plus une racine est semée de bonne heure, plus elle est riche en sucre. En effet, sa richesse et son poids augmentent proportionnellement jusqu'en août ; à ce moment, si les conditions climatériques sont bonnes, la betterave cesse de croître en poids, le sucre seul s'accumule sous l'effet puissant des dernières chaleurs de l'été ; cette seconde période de

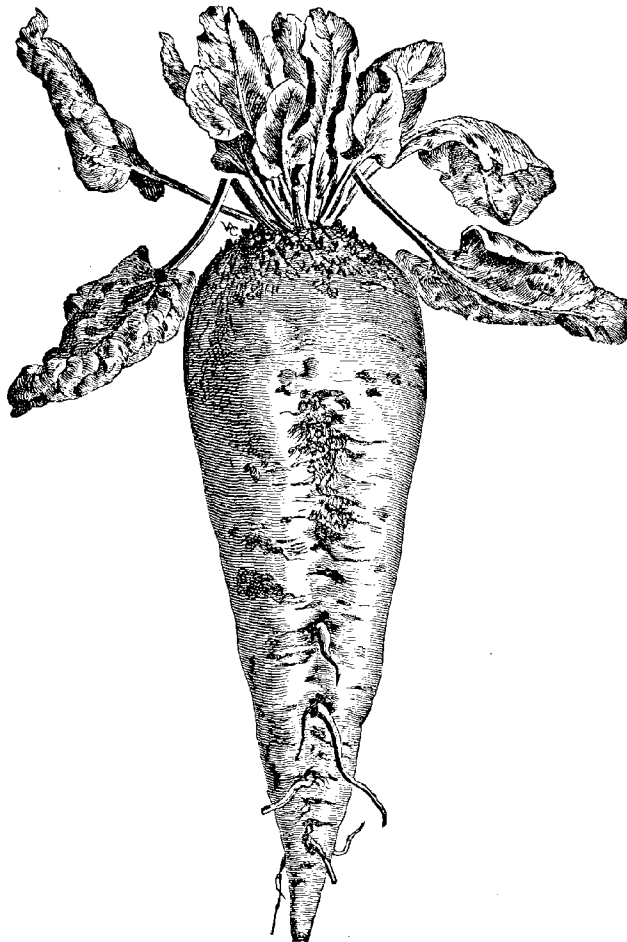


Fig. 4.

temps dans la croissance du sucre est donc constante, la première seule varie avec l'époque des semailles, époque que pour cette raison on doit choisir la plus voisine possible des dernières gelées. Le temps est donc un élément de la richesse de la racine, avec lequel il faut compter : il faut donc semer en avril plutôt qu'en mai, et si la fin de mars n'était

sujette à quelques gelées encore, ce serait le moment le plus profitable pour faire cette opération. Donc, on devra semer aussitôt que les gelées ne sont plus à craindre et que le sol sera assez sec pour recevoir les façons nécessaires.

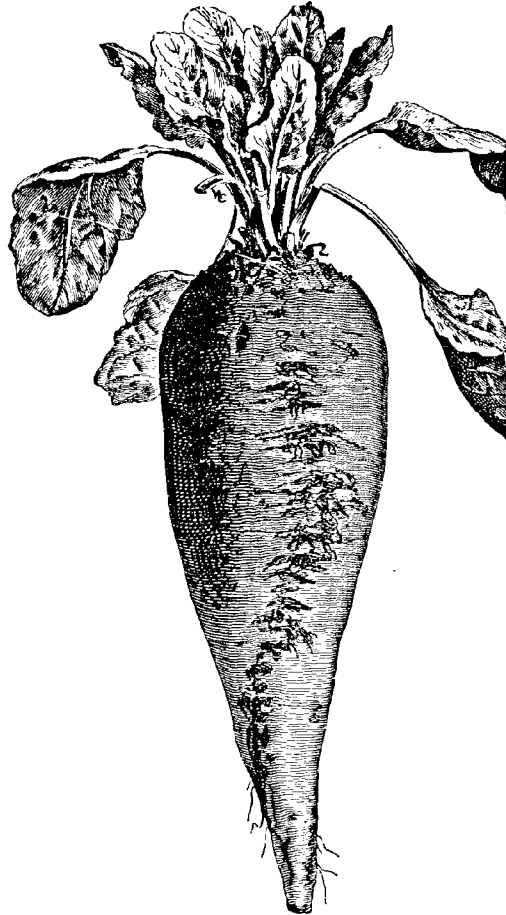


Fig. 5.

Cependant on a remarqué que les racines semées de très bonne heure montaient très facilement à graine la première année. On ne doit donc semer de bonne heure que des graines que l'on connaît bien et qui ne sont pas sujettes à donner une floraison hâtive.

A l'appui du raisonnement précédent, voici quelques nombres résultant d'expériences instituées à cet effet par le D^r Scheibler. On y voit

que la croissance a été rapide jusqu'au 15 août, époque vers laquelle elle reste presque stationnaire. On voit aussi que le jus devient plus pur au fur et à mesure que sa richesse en sucre augmente.

AGE des betteraves	1 ^{er} juillet	14 juillet	20 juillet	30 juillet	15 août	1 ^{er} sept.	1 ^{er} oct.
Poids moyen d'une B. . .	38.6	136.6	233.0	313.1	474.7	547.1	642.4
Densité du jus	1.041	1.044	1.054	1.054	1.049	1.058	1.064
Teneur en sucre 0/0. . . .	6.32	7.84	9.89	10.70	9.64	11.94	13.27
Teneur en azote 0/0. . . .	0.322	0.221	0.245	0.173	0.180	0.166	0.190

De son côté, Méhay, à la suite de nombreuses expériences faites en 1869, sur la croissance de la betterave, a constaté et a prouvé par le calcul géométrique, combien les betteraves semées de bonne heure devaient être plus riches que les autres, et a résumé ces résultats et ses autres travaux en un tableau tout à fait analogue au précédent, prouvant l'avantage que retire le cultivateur à semer de bonne heure. De nombreux expérimentateurs ont recommencé les mêmes essais et sont tous arrivés au même résultat. Il est une autre cause climatérique qui influe sur la richesse de la betterave. Marié Davy a remarqué que les années où l'automne est couvert donnent des racines moins sucrées que lorsque ce mois est égayé par un soleil brillant. Il en conclut et prouve que non seulement la chaleur et le temps, mais encore la lumière vive, sont nécessaires au développement du sucre.

Comment se forme le sucre dans la betterave ? Voilà une question qui a été bien souvent soulevée, bien souvent discutée. Les uns prétendaient que le sucre se forme directement dans la racine, d'autres que c'est par les feuilles qu'il prend naissance. L'Académie elle-même n'a pu élucider la question, quoiqu'elle ait eu à ce sujet une grande discussion soulevée par Violette, à propos de l'usage déplorable qu'ont certains agriculteurs d'effeuiller leurs betteraves. Quand on effeuille les betteraves, les racines contiennent beaucoup moins de sucre. C'est donc que les feuilles sécrètent le sucre ? Voici, en résumé, comment s'est engagée cette polémique (1877) : Claude Bernard, dans son cours de physiologie générale, ayant exprimé le doute que l'effeuillage empêchât la production du sucre dans la betterave, Violette, par d'habiles expériences, montra la grande différence de richesse en sucre et de rendement à l'hectare de betteraves effeuillées et non effeuillées. Claude Bernard, sans attaquer ces expériences, fit remarquer qu'elles ne présentaient qu'une moyenne de résultats agronomiques, c'est-à-dire que l'effeuillage pouvait nuire à la

qualité des racines, mais que cela ne prouvait pas que le sucre prit naissance par les feuilles, puisque les betteraves effeuillées ne contenaient qu'une faible quantité de sucre en moins que les betteraves non effeuillées. Duchartre, de son côté, trouvait les conclusions de Violette conformes à la vérité ; il expliqua par la citation de nombreux auteurs, que c'est dans les feuilles que se forme l'amidon de toutes les racines féculantes, aux dépens de la chlorophylle et de l'acide carbonique de l'air, que le sucre suit la même origine, et, comme preuve, il cita maintes feuilles, telles que la vigne en France, l'agave en Amérique, qui contiennent sucre et amidon, l'un dérivant de l'autre par un phénomène physiologique que la chimie ne peut comprendre, comme l'indique Pasteur, mais que Berthelot croyait possible, vu que les fruits dans lesquels se rencontre le sucre cristallisable, comme l'orange, contiennent à la fois et glucose et lévulose, dont la combinaison et la déshydratation, sous l'influence de la vie, peut donner le sucre de canne ; cependant il n'y a encore la-dessus, rien de certain. Claude Bernard conclut que la seule chose qui soit prouvée, c'est la présence de l'amidon, du sucre, du glucose, etc., dans les feuilles, et que tout ce qu'on dit sur la migration de ces éléments dans les racines est pure hypothèse, sans démonstration immédiate, à quoi Boussingault ajouta qu'il y a à cela de grandes probabilités que les expériences de Violette et celles des expérimentateurs célèbres cités dans le cours de cette discussion, ne font que confirmer.

Voilà où nous en étions en 1882.

Nous ne pouvions donc pas conclure autrement que nos éminents et honorables maîtres, tout en regrettant que leur longue discussion ne nous ait pas plus renseignés qu'avant ; cependant, nous devons tirer de là cet enseignement, que la feuille est indispensable à l'accumulation du sucre dans les racines, qu'il faut donc se donner bien garde d'effeuiller la betterave. Cette pratique, outre qu'elle diminue le rendement de la betterave, est la ruine de la sucrerie, puisqu'elle produit des racines peu sucrées.

C'est alors, en 1886, qu'Aimé Girard, l'éminent professeur du Conservatoire des Arts et Métiers et de l'Institut agronomique, entreprit les travaux qui l'amènèrent au bout de plusieurs années d'études à découvrir le véritable mécanisme de la formation du sucre dans la betterave. C'est par la feuille que se forme le sucre et sous l'influence solaire.

Le but que s'était proposé Aimé Girard était l'étude complète de la betterave depuis l'extrémité la plus fine des dernières radicules jusqu'à celle des feuilles, afin que rien de l'existence de la plante ne pût lui échapper. A cet effet, la graine de betterave fut semée dans un terrain

artificiel formé de bonne terre franche, tamisée pour écarter tout objet capable de déranger la croissance de la racine.

Cette terre était contenue dans une caisse formant un terre-plein de 2 mètres de hauteur, 6 mètres de largeur et 13 mètres de longueur, formant donc 78 mètres carrés de surface utile environ, et garantie par des talus extérieurs contre les changements brusques de température, comme serait un champ d'expérience ordinaire.

Enfin l'intérieur de ce terre-plein était divisé par des cloisons verticales en dix cases de végétation.

La terre a été analysée, puis travaillée comme les terres à betterave, enrichie d'engrais chimiques, et semée en avril. On put alors faire dix récoltes à époques assez régulièrement espacées jusqu'au 1^{er} octobre, date de la dernière.

Les récoltes se faisaient de la manière suivante :

En avant de chaque case on abattait la cloison verticale. La terre alors s'éboulait. Mais les betteraves étaient maintenues en place dans leur position normale avec grandes précautions. Au moyen d'un jet d'eau lancé avec soin, on les débarrassait de la terre qui les enveloppait ; en sorte qu'A. Girard put se procurer un certain nombre de racines, dans chaque case, avec toutes leurs radicelles, leur chevelu complet, sans la moindre déchirure.

Ces betteraves étaient épongées extérieurement par des moyens fort ingénieux, puis photographiées, mesurées, pesées, analysées, etc.

Tout a été fait avec tant de soin et d'habileté, qu'A. Girard put connaître exactement les moindres détails de la vitalité des racines. Les souches, les pivots, les radicelles, les pétioles, les limbes et les nervures des feuilles furent soumis à l'examen analytique le plus minutieux.

Bien plus, ces derniers éléments furent examinés après récolte de jour et récolte de nuit, ce qui fut un trait de génie, car c'est de là qu'est survenu le succès complet des investigations d'A. Girard.

Pour donner une idée du soin avec lequel a été exécuté ce long et beau travail, et de la somme de recherches qu'il a demandé, il faudrait le citer tout entier.

Aussi nous contenterons-nous d'indiquer le résumé des observations auquel il a donné lieu.

Étant connu que le but des feuilles et des radicelles est de nourrir la souche de la betterave, et d'y accumuler le jus sucré, les radicelles ne concourent en rien à la formation du sucre ; elles ne servent qu'à absorber l'humidité et les sels nourriciers du sol.

Tout autre est l'objet des feuilles. C'est dans les limbes que s'élabore le sucre qui s'écoule par les nervures et les pétioles vers la souche. Le

jour le sucre se forme, la nuit il est absorbé par la racine, en sorte qu'au matin, limbes et pétioles sont moins chargés de sucre que le soir. C'est la lumière solaire qui préside à la création du sucre, et plus le ciel est découvert et sans nuage, plus le sucre se forme en abondance par la feuille.

Ainsi c'est la feuille qui forme le sucre. Le problème est définitivement résolu par Aimé Girard.

Nous aurions voulu nous étendre un peu longuement sur ce sujet, car il est de premier ordre pour l'histoire de la végétation, et fertile en résultats pratiques pour la culture.

Le mémoire d'A. Girard est accompagné de photographies donnant, au sixième, des spécimens des betteraves à l'époque des dix arrachages successifs. On y voit l'extraordinaire développement du chevelu qui présente jusqu'à 2^m,50 de longueur. Il n'avait jamais été donné jusqu'à ce jour de pouvoir contempler toutes les racelles de ces racines pivotantes qui occupent dans le sol une telle surface qu'A. Girard évalue à 6 ou 8 mètres cubes le volume de terre dans lequel chaque betterave peut développer ses organes. C'est ce qui explique la difficulté des repiquages lorsque la betterave a déjà un certain développement, et aussi la difformité des racines qui ne peuvent étaler à leur aise leur chevelu dans un sol mal défoncé. Enfin cela montre comment les récoltes des racines pivotantes ameublissent les sous-sols, qu'ils enrichissent par l'immense quantité de racelles laissées en terre lors de l'arrachage. L'agriculteur peut donc tirer de ces recherches beaucoup d'enseignements, chacun d'après la nature des terrains qu'ils cultivent, aussi bien sur la manière même de les travailler, que sur la nature des engrais qu'il doit répandre dans ses champs.

Nous passerons en revue, dans un chapitre spécial, les meilleures conditions de culture de la betterave ; non pas que, par ces notions, nous voulions apprendre l'agriculture à qui que ce soit, mais parce que ces notions sont utiles au chimiste autant qu'au fabricant et à l'agriculteur, en tant qu'elles sont celles dont on ne doit pas s'écarter, et que l'on peut exiger de la culture sans entraver sa liberté d'action outre mesure, chacun y trouvant son bien.

Nous allons étudier dans notre premier chapitre la nature même de la betterave et de ses éléments constitutifs.

LIVRE PREMIER

ÉTUDE DES TRANSFORMATIONS CHIMIQUES DES LIQUIDES SUCRÉS PENDANT LA FABRICATION

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDE ÉLÉMENTAIRE DE LA BETTERAVE

§ 1. — Composition de la betterave.

La connaissance de la composition de la betterave, c'est-à-dire de la matière première de la fabrication du sucre, est indispensable à tout cultivateur et fabricant pour en modifier à son avantage, autant que faire se peut, les rapports saccharins utilisables. La betterave, telle que la considère le fabricant, est composée de jus et de pulpe, qu'il sépare par divers procédés d'une manière plus ou moins parfaite, et lorsqu'il achète au cultivateur sa récolte, il la demande riche en jus bien sucré. Le cultivateur, de son côté, voit dans la racine un gagne-pain rémunérateur dont il cherche à augmenter le poids; mais les exigences de la fabrication le forcent à la désirer le plus sucrée possible, puisqu'on tend de plus en plus à l'y intéresser pécuniairement. Outre ces connaissances immédiates, le fabricant apprend à ses dépens que le jus se travaille bien ou mal; il sait, par expérience, assez souvent, parer aux difficultés qu'engendre le changement de nature des jus; mais s'il n'a pas reçu les premières notions de la science, s'il n'a pas été instruit de la constitution première de la racine qu'il travaille, il lui sera impossible de prévoir ou d'éviter certains accidents que l'homme qui sait pourra conjurer. S'il est si nécessaire de connaître la nature intime de la betterave, encore faut-il savoir le mode de transformation qu'éprouvent tous ses éléments si divers, et malheureusement il existe parfois dans les ouvrages spéciaux de si grandes obscurités et des lacunes si regrettables qu'il faut être véritablement chimiste pour reconstituer tous les desiderata des auteurs. Nous allons essayer de passer en revue les phénomènes

divers qui se présentent dans les transformations de la betterave et dans les différentes phases de la fabrication, après avoir étudié chacun des corps dont l'existence a été reconnue dans la précieuse racine, et nous verrons comment on peut obvier aux difficultés provenant des altérations de la racine et du jus.

L'analyse de la betterave y a fait reconnaître une quantité notable de matières plus ou moins dosables; mais lorsque l'on suit la fabrication jusqu'au bout, on remarque, dans les derniers produits surtout, et parfois dans le courant du travail, la présence d'éléments que l'analyse n'avait pu y faire découvrir, vu la très grande complexité de la composition des êtres organisés qui végètent sur la terre. Voici quel est, d'après divers auteurs, la composition des betteraves.

COMPOSITION DE LA BETTERAVE D'APRÈS PAYEN.

Eau	83,5
Sucre	10,5
Cellulose et pectose.	0,8
Albumine, caséine et autres matières azotées neutres.	1,5
Acide malique; substance gommeuse; matières azotées, grasses, aromatiques, colorantes; huile essentielle; chlorophylle, asparagine, oxalate et phosphate de chaux, chlorhydrate d'ammoniaque, silicate, azotate, sulfate, oxalate de potasse, oxalate de soude, chlorure de sodium et de potassium, pectates et pectinates de chaux, soude, potasse, magnésie, acide silicique, oxyde de fer, etc.	3,7

 100

D'APRÈS BEAUDEMONT

ESPECES de racines	Disette ordinaire	Disette blanche	Jaunes grosses	Globes jaunes	Globes rouges	Blanche Silésie	MOYENNE
Eau	82.814	78.694	80.582	79.318	80.048	81.600	80.509
Substance sèche	17.186	21.306	19.418	20.682	19.952	18.400	19.491
	100	100	100	100	100	100	100
Condres	1.069	1.252	0.896	1.088	1.376	1.106	1.131
Lignoux et cellulose	2.218	1.536	1.664	2.146	1.581	2.328	1.912
Matière grasse.	0.283	0.229	0.321	0.260	0.477	0.261	0.305
Sucre ou analogue.	12.503	16.764	14.951	15.519	13.918	13.549	14.534
Matières azotées	1.113	1.525	1.656	1.669	2.600	1.156	1.620
	17.186	21.306	19.488	20.682	19.952	18.400	19.502
Azote	0.178	0.244	0.265	0.267	0.416	0.185	0.259

Il existe encore beaucoup d'autres analyses analogues de betterave exécutées par des chimistes non moins célèbres. Selon Corenwinder, les cendres varient dans la betterave de 0,716 à 1,300 %, les sels de potasse s'y présentent dans la proportion de 44 à 73 0/0 des cendres; les sels de soude paraissent être complémentaires du poids de la potasse, et la richesse en sucre est d'autant plus faible que la betterave contient plus de sels de soude.

Voici donc une longue liste d'éléments reconnus dans la betterave, dont le dosage n'a rien d'exact, puisqu'il varie avec chaque individu, mais dont on connaît des moyennes intéressantes, mais non constantes. Chacun de ces corps divers joue son rôle dans la fabrication, les uns actif, les autres inactif. Nous allons étudier les premiers et les suivre jusqu'à la fin du travail. En voici la nomenclature :

1° *Sucres* (cristallisable et non cristallisable, interverti et neutre) :

Saccharine, raffinose, etc.

Mannite, gommés, etc.

2° *Matières organiques non azotées* :

Pectose, pectine, parapectine, métapectine.

Acides pectosique, pectique, parapectique, métapectique.

Acides glucique, apoglucique, malique, lactique.

Matières ulmiques, acide mélassique, assamare.

3° *Matières azotées* :

Albumine, protéine, caséine et légumine, asparagine, acide aspartique, bétaine.

4° *Matières minérales*.

5° *Fermentations*.

§ 2. — Les sucres.

Généralités. — Dans notre première édition nous avons employé la notation en équivalents pour exprimer les formules des sucres et leurs transformations.

A cette époque la notation atomique ne faisait que naître et nos maîtres, Sainte-Claire-Deville et Berthelot, résistaient à la propagande de Würtz en faveur des théories allemandes.

C'est Würtz qui l'a emporté et toute la pléiade des jeunes chimistes d'aujourd'hui ignore presque maintenant la notation en équivalents qui fut celle de l'aurore des grandes découvertes du XIX^e siècle.

Nous devons donc nous conformer aux usages reçus et nous écrirons toutes nos formules en notation atomique ; cependant nous conserverons la notation en équivalents pour nos propres travaux publiés primitivement sous cette forme, ainsi que pour ceux de Dubrunfaut, Péligot, Feltz, etc. les présentant ainsi sous leur aspect original.

Avec la notation atomique sont nés une infinité de mots pour exprimer la même chose, de telle sorte que pour certains corps il est bien difficile de s'y reconnaître.

Ainsi prenons le sucrate de chaux.

Nous savons tous qu'il existe un sucrate bien défini, le sucrate tribasique qui contient 3 équivalents de chaux pour 1 de sucre.

Or, sous prétexte que la formule du sucre est doublée, et que par conséquent il faut 6 molécules de chaux pour saturer la molécule double de sucre, quelques auteurs appellent le sucrate tribasique le *saccharoside hexacalcique*. De sorte que, ni le mot *saccharoside*, ni le mot *hexacalcique*, ne répond à l'image que l'on se fait dans l'esprit, des composés sucre et chaux, même si l'on donne au sucre le nom plus moderne de *saccharose*.

D'autres auteurs le nomment *saccharate* tricalcique. Le mot *saccharate* n'est pas approprié non plus, puisqu'il existe un acide saccharique.

Conservons donc le mot *sucrate* qui exprime bien ce que nous voulons dire, avec la formule simple du sucre, $C^{12}H^{11}O^{11}$ en notation par équivalents, ou $C^{12}H^{22}O^{11}$ en notation atomique, sans nous égarer dans des considérations de chimie extra-pure qui reposent souvent plus sur des mots que sur des faits, et nous font perdre de vue la réalité des réactions qui se passent dans nos liquides sucrés.

Quoique ne voulant pas nous lancer dans des considérations de chimie extra-pure, comme nous le disions tout à l'heure, nous devons néanmoins tenir compte des très beaux travaux que la chimie moderne a faits sur les sucres, travaux qui nous éclairent sur bien des points jusque là obscurs de la chimie du sucre.

Un chimiste Allemand, E. Fischer, a pendant de longues années étudié les relations que les sucres pouvaient avoir avec les alcools, les aldéhydes, les acétones, etc., et il est parvenu à faire la synthèse de tous les sucres, en partant de la glycérine ou même de l'aldéhyde formique. Seul le saccharose ou sucre de canne n'a pas été obtenu synthétiquement.

Voici la suite des opérations telles que les donne Fischer (1890) :

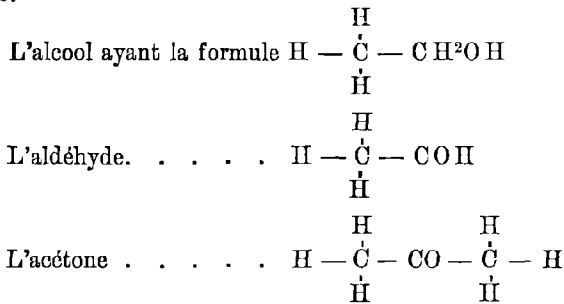
α. *Acrose* — par le bromure d'acroléine, le glycérose et l'aldéhyde formique, chauffé avec l'acétate de phénylhydrazine donne le :

- Phénylglucosazone* — qui, par l'acide chlorhydrique se transforme en :
- Glucosone* — qui donne avec le zinc et l'acide acétique le :
- Lévulose* — qui donne avec l'amalgame de sodium la :
- Mannite* — qui donne avec l'acide azotique la :
- Mannose* — qui donne avec le brome le :
- Ac. mannonique* — qui se transforme par la quinoléine en :
- Ac. gluconique* — qui donne enfin par l'amalgame de sodium la :
- Dextrose.*

Ainsi, par une suite de transformations, on part de l'aldéhyde formique pour obtenir successivement la lévulose, la mannite, et enfin la dextrose.

Enfin en 1892 E. Fischer, remarquant que toutes ses observations sur les sucres étaient d'accord avec la théorie dite du *carbone asymétrique*, fonda sur cette théorie une classification de ces substances.

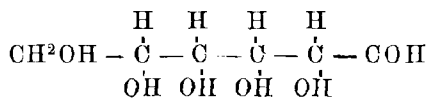
Suivant cette théorie, il nomma *aldoses* les corps ayant les propriétés des alcools-aldéhydes, et *cétoses* ceux qui ont les propriétés des alcools-acétones.



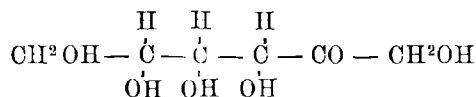
En réunissant les résidus $\text{CH}^2\text{OH} - \text{COH}$ on a une *aldose*.
 et $\text{CH}^2\text{OH} - \text{CO} - \text{CH}^2\text{OH}$ est une *cétose*.
 tandis que $\text{CH}^2\text{OH} - \text{CH}^2\text{OH}$ est un *alcool polyatomique*.

En intercalant entre les deux premiers termes le groupe HCOH un nombre de fois pouvant aller jusqu'à quatre, on a la nomenclature de tous les sucres. On remarque que toutes ces combinaisons peuvent s'effectuer, toutes les atomicités du carbone existant, ou introduit dans la formule, étant saturées.

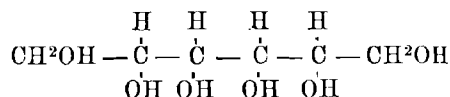
On appella alors *biose, triose, . . ., hexoses* les corps contenant deux, trois, . . ., six groupes dans leurs combinaisons. Parmi les hexoses, la glycose ou dextrose est une *aldose* et s'écrit



la lévulose est une *cétose*



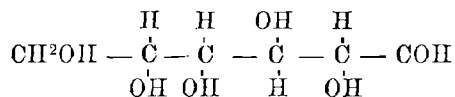
la mannite est un *alcool hexatomique*



Seulement ce groupement laisse un doute. Doit-on écrire les groupes intermédiaires $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \\ | \quad | \\ \text{C} \quad \text{C} \\ | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{H} \end{array}$ ou $\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ | \quad | \\ \text{C} \quad \text{C} \\ | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$?

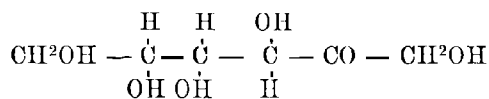
Le pouvoir rotatoire des corps et la théorie du carbone asymétrique indiquent que dans certains cas il faudra l'écrire de la première manière et dans certains autres de l'autre.

Ainsi : la glycose dextrogyre ou dextrose s'écrira



et cette dissymétrie dans la constitution sera cause de son pouvoir rotatoire à droite.

La lévulose qui tourne à gauche s'écrira



Et la mannite qui est dénuée de pouvoir rotatoire s'écrira comme ci-dessus, tous les termes étant semblables.

Ces formules permettent de comprendre facilement certaines réactions qui augmentent ou diminuent le nombre d'atomes de carbone asymétrique, et expliquent la genèse des sucres. Ils expliquent aussi les cas d'isomérisie qui proviennent du déplacement des termes de la formule.

Quant au saccharose, qui est une combinaison du glucose et lévulose avec élimination de H^2O , il ne peut être classé parmi ces corps, puisqu'il représente le résultat d'une réaction de l'un de ces corps sur un autre.

Nous ne nous étendrons pas plus sur ce chapitre qui offre un grand intérêt spéculatif, mais de peu de portée pour l'industriel.

PHÉNYLHYDRAZINE. — Nous devons cependant signaler quelques réactions nouvelles des sucres dont les chimistes peuvent se servir dans leurs recherches techniques.

Les sucres font des combinaisons définies avec un corps dont les propriétés n'ont été bien connues que vers 1889, la *phénylhydrazine*.

On nomme *hydrazines* une classe d'ammoniaques qui dérive du *diamidogène* $H^2Az-AzH^2$

La *phénylhydrazine* est $C^6H^5.HAz-AzH^2$

Le chlorhydrate s'écrit $C^6H^5.HAzHCl$



La *diphénylhydrazine* qui est aussi intéressante pour nous est $(C^6H^5)^2Az-AzH^2$.

Les hydrazines ayant la propriété de se combiner avec les aldéhydes et les acétones, se combinent aussi aux *aldoses* et aux *cétoses*.

Fischer donne le nom générique d'*hydrazones* aux combinaisons des hydrazines avec les aldéhydes et les acétones. Les sucres donnent donc aussi des hydrazones.

Les *dihydrazones*, renfermant deux restes d'hydrazines voisins, ont reçu le nom d'*osazone*.

Comme aujourd'hui nous retrouvons souvent ces termes dans la littérature qui traite de la chimie des sucres, nous avons tenu à en donner la définition.

Les hydrazones des sucres ont des propriétés spéciales suivant leur origine, ce qui permet dans les cas douteux de différencier les sucres. Leurs combinaisons se nomment, par exemple, pour le glucose, *phénylglucosazone*. Mais pour simplifier on dit glucosazone, lévulosazone, etc. Se basant sur ces faits, Fischer a proposé (1887) de ne nommer *sucres* parmi les corps de formule $C^6H^{12}O^6$ que ceux qui réduisent la liqueur de Fehling et fournissent des azones avec la phénylhydrazine.

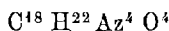
D'après cela l'inosite, le dambose, etc., ne seraient pas des sucres.

Quant aux corps $C^{12}H^{22}O^{11}$, comme la saccharose, il les nomme sucres s'ils donnent avec les acides étendus des sucres véritables de la formule $C^6H^{12}O^6$, et les considère comme des anhydrides de ces derniers.

Ces combinaisons s'obtiennent de la manière suivante :

On chauffe au bain-marie 1 partie de glucose avec 2 parties de chlorhydrate de phénylhydrazine, 3 parties d'acétate de sodium et 20 parties d'eau. Il se sépare de fines aiguilles jaunes, et après une heure et demie le poids du précipité est égal à 90 % de celui du glucose.

Ces cristaux sont presque insolubles dans l'eau, solubles dans l'alcool bouillant, fusibles à 204-205° en un liquide rouge foncé, décomposables totalement à une température plus élevée. Leur composition est :



C'est la *glucosazone*. Indifférente à l'égard des alcalis, elle réduit énergiquement la liqueur de Fehling, se dissout en rouge dans les acides chlorhydrique et sulfurique concentrés.

La lévulose et le sucre interverti donnent le même produit.

La réaction est sensible pour 0,02 de glucose dans 100 centimètres cubes d'eau.

La *sorbine* donne une azone fusible à 164°.

Le *sucre de lait* donne un produit fusible à 200°.

Le *maltose* donne des cristaux fusibles à 190°.

L'inosite et la tréhalose ne se combinent pas.

La *mannitose* donne exactement les mêmes réactions que la lévulose, ce qui engage Fischer à considérer les deux corps comme identiques, comme Dafert l'avait prétendu déjà.

On voit quel champ d'expérience fournit la phénylhydrazine. Un chimiste, Hirschl, a même proposé ce corps comme le meilleur pour décèler la présence du glucose dans les urines, la réaction qu'il donne étant extrêmement nette, à cause de la précipitation caractéristique des petits cristaux jaunes. Il suffit en effet dans un tube à essai de mettre 6 ou 8 centimètres cubes du liquide, un peu de chlorhydrate de phénylhydrazine cristallisé, un peu d'acétate de sodium solide, plonger dans un bain-marie bouillant et laisser pendant une heure. Le glucosazone se dépose en cristaux jaunes.

RÉACTIONS COLORÉES DES SUCRES. — Une dissolution de *fuschine décolorée par un excès d'acide sulfureux* rougit en présence des aldéhydes et reste incolore avec l'acétone. Villiers et Fayolle ont constaté de même que le réactif rougit avec les *aldoses* et reste incolore avec les *cétoses*, ce qui permet de différencier la glucose qui rougit le réactif en qualité de sucre aldéhydrique, de la lévulose qui ne le rougit pas étant un sucre cétosique.

Le saccharose ne rougit pas le réactif. Mais si on le laisse quelque temps en présence de cette liqueur acide, il s'intervertit, et la liqueur rougit par l'effet du glucose qui se forme. Cette réaction est excessivement sensible (1894).

Le corps connu sous le nom de *alpha-naphtol* en présence de l'acide sulfurique prend une coloration violette caractéristique avec le sucre. Pellet s'est servi de cette réaction pour doser des traces de sucre dans les petites eaux. Nous y reviendrons plus tard.

En général les sucres en présence des acides forts, chlorhydrique ou sulfurique, donnent avec les phénols des réactions colorées. En effet,

les aldéhydes donnent avec le phénol des réactions rouges ou violettes. Il n'est donc pas étonnant que les aldoses aient les mêmes caractères.

H. Molisch (1886) décrit ainsi la réaction : « Une solution sucrée, additionnée d'une solution alcoolique d'*alpha-naphtol* à 15 ou 20 %, puis d'un excès d'acide sulfurique concentré, fournit immédiatement une coloration violette qui, par addition d'eau, fait place à un précipité bleu-violet.

« Le *thymol* fournit dans les mêmes conditions une coloration rouge, puis un précipité rouge carmin.

« Ces deux réactions sont communes au sucre de canne, au sucre de lait, glucose, lévulose, maltose. L'inozite ne les présente pas.

« Elles permettent de décèler directement la présence d'un sucre dans une urine normale, même étendue à 200 ou 300 volumes d'eau.

« Enfin on peut déterminer d'après l'intensité de la coloration si une urine donnée est diabétique ou normale. »

SUCRES. — Le sucre que l'on extrait des betteraves est chimiquement le même que celui que l'on retire de la canne. Il existe indépendamment du sucre, d'autres matières sucrées qui ont une grande analogie entre elles et avec le sucre de canne, soit par les propriétés générales, soit par la composition. Une partie de ces sucres connus de toute antiquité ont reçu le nom qui découlait de leur origine, tels sont les sucres de raisin, de fruit, de féculé, etc. Les autres appartiennent à la chimie moderne. Tous ces sucres ont un goût plus ou moins sucré, sont neutres et solubles dans l'eau ; leur composition est déterminée par la combinaison de 12 équivalents de carbone avec 11 ou 12 équivalents d'eau, ce qui les a fait nommer hydrates de carbone. Mais les uns sont fermentescibles directement, d'autres pas ; les uns sont profondément modifiés dans leurs propriétés par les alcalis ou les acides, tandis que les autres n'en éprouvent aucun effet. L'action de tous ces sucres sur la lumière polarisée est différente. En tenant compte de ces différences, on est parvenu à grouper les sucres en trois classes. La première aurait donc pour formule en équivalents $C^{12}H^{12}O^{12}$, soit $C^6H^{12}O^6$ en notation atomique. Ils sont en partie fermentescibles, en partie ils résistent à l'action de la levure de bière. Nous en donnons la nomenclature suivie de leurs pouvoirs rotatoires.

SUCRES FERMENTESCIBLES.

Le sucre de raisin ou glucose ou dextrose	[α] _D = + 57,6
Le sucre de fruit ou lévulose	[α] _D = - 106
Le galactose	[α] _D = + 88,8
Le sucre de malt ou maltose	[α] _D = + 172 (?)
Le sucre de quercitrin ou mannitose	[α] _D = 0.

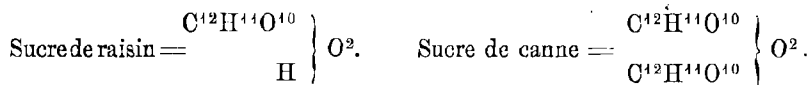
SUCRES NON FERMENTESCIIBLES.

Sorbine	[α]j = - 46,9
Inosite	
Scyllite	
Eucaline	[α]j = + 65 (environ).

Les sucres du deuxième groupe sont attaqués par la levure de bière et par l'ébullition avec les acides étendus. Ils sont transformés, en tout ou en partie, en sucres du premier groupe. Ces sucres paraissent se comporter vis-à-vis de ceux du premier groupe, comme l'éther vis-à-vis de l'alcool, en tant que leur formule contient une molécule d'eau de moins pour la même quantité de carbone. Ainsi l'on a d'après Gérhardt :



De même :

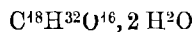


Ce qui fait adopter pour les sucres de ce second groupe le double de la formule $\text{C}^{12}\text{H}^{11}\text{O}^{11}$, soit $\text{C}^{12}\text{H}^{22}\text{O}^{22}$, ou $\text{C}^{12}\text{H}^{22}\text{O}^{11}$ ou notation atomique. Tels sont dans ce groupe :

Sucre de canne ou saccharose.	[α]j = + 73,8
Mélitose	[α]j = + 102
Mélézitose.	[α]j = + 94,1
Tréhalose ou mycose	[α]j = + 220
Sucre de lait ou lactose.	[α]j = + 59,3

On a nommé les glucoses des *monosaccharoses*, et les sucres dont on a dû doubler la formule des *bisaccharoses*.

Depuis, on a découvert un sucre dont la formule a dû être triplée, et qui rentre en conséquence dans la classe des *trisaccharoses*. C'est la raffinose,



Dans le troisième groupe, on a classé certaines matières sucrées qui ne sont pas aptes à la fermentation et ne contiennent pas l'oxygène et l'hydrogène dans le même rapport que l'eau, tandis qu'ils ont 6 atomes de carbone, ce qui fait un groupe tout à fait en dehors des premiers, et que tous les chimistes ne reconnaissent pas comme sucres. Nous les donnons pour les rattacher aux corps précédents dans nos études. Ce sont :

La mannite	$\text{C}^6\text{H}^{14}\text{O}^6$	$\alpha = 0$
La dulcité	$\text{C}^6\text{H}^{14}\text{O}^6$	$\alpha = 0$
La pinite	$\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^5$	[α]j = + 58,6

La quercite	$C^6H^{12}O^5$	$[\alpha]_j = + 33,5$
La mélanopyrite	$C^6H^{15}O^6$	$\alpha = 0$
L'érythroglucine		$\alpha = 0$
L'indiglucine	$C^6H^{10}O^6$	

Enfin il existe un quatrième groupe de matières fort importantes dans la nature que l'on doit ranger aussi parmi les hydrates de carbone, car elles ont pour formule $C^6H^{10}O^5$. Sous l'influence des acides, elles fixent de l'eau et se transforment en glucoses fermentescibles. Ce sont :

L'amidon	$[\alpha]_j = + 211$	A. soluble
Le glycogène		
La dextrine	$[\alpha]_j = + 138,7$	
L'inuline	$[\alpha]_j = - 34,4$	
Les gommes (arabine)	$[\alpha]_j = - 36$	(environ).
La cellulose		
La tunicine		

Ces corps portent le nom de matières amylacées.

On désigne sous le nom de :

<i>Glucoses</i> ou <i>Glycoses</i>	Le premier groupe des sucres ;
<i>Saccharoses</i>	Le deuxième ;
<i>Amyloses</i>	Le groupe des matières amylacées.

Pour terminer cette nomenclature, nous dirons qu'on nomme *glucosides* une série de substances qui, par leur décomposition, se transforment en glucose et en un autre corps. Tels sont :

- L'amygdaline ;
- Le tannin ;
- La salicine ;
- La convolvuline ;
- La solanine ;
- La phlorizine, etc.

Ces généralités connues, nous allons passer à la description des corps les plus importants dans le cours de la fabrication.

SUCRE DE CANNE $C^{12}H^{22}O^{11}$ (*Saccharose*).

— Le sucre cristallise facilement en gros prismes rhomboïdaux obliques, ou système monoclinique, portant des facettes hémédrique (fig. 6). Rapport des axes (axe principal) $a : b : c :: 0,7952 : 1 : 0,7$. Angle des axes $76^{\circ}44'$. Angles des faces $101^{\circ}30' - 98^{\circ}50' - 64^{\circ}12'$. Ces cristaux ont pour densité 1,606 (suivant

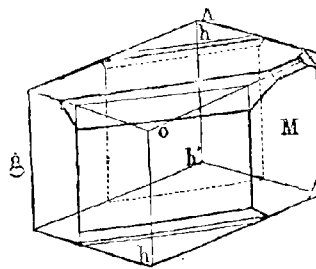


Fig. 6.

Solubilité du sucre dans l'eau pure (Schoibler).

TEM- PÉRATURE	SUCRE dissout	TEM- PÉRATURE	SUCRE dissout	TEM- PÉRATURE	SUCRE dissout
0°	65.0 0/0	20°	67.0 0/0	40°	75.8 0/0
5	65.2	25	68.2	45	79.2
10	65.6	30	69.8	50	82.7
15	66.1	35	72.4		

Solubilité du sucre dans les mélanges d'alcool et d'eau (Schoibler).

RICHESSE en alcool	DENSITÉ ramenée à 17° ₅	SUCRE dans 100	DENSITÉ à 17° ₅	SUCRE dans 100	SUCRE dans 100
		à 0°		à 14°	à 40°
0°	1.3248	65.8	1.3258	87.5	105.2
10	1.2991	80.7	1.3000	81.5	95.4
20	1.2360	74.2	1.2662	74.5	90.0
30	1.2293	65.5	1.2327	67.9	82.2
40	1.1823	56.7	1.1848	58.0	74.9
50	1.1294	45.9	1.1305	47.1	63.4
60	1.0500	32.9	1.0582	33.9	49.9
70	0.9721	18.2	0.9746	18.8	31.4
80	0.8931	6.4	0.8953	6.6	13.3
90	0.8369	0.7	0.8376	0.9	2.3
97.4	0.8062	0.08	0.8082	0.36	0.5

Solubilité du sucre dans l'eau pure à différentes températures (Flourens).

TEM- PÉRATURE — Degrés centigrades	SUCRE pour 100	Degré de l'aréomètre Baumé		Degrés du densimètre Gay-Lussac	
		à la température observée	à 15° C	à la température observée	à 15° C
0	64.70	35.30	34.60	132.25	131.50
5	65.00	35.35	34.90	132.43	131.90
10	65.50	35.45	35.20	132.55	132.25
15	66.00	35.50	35.50	132.60	132.60
20	66.50	35.60	35.75	132.75	132.90
25	67.20	35.80	36.25	133.00	133.55
30	68.00	36.00	36.70	133.25	134.05
35	68.80	36.20	37.10	133.50	134.60
40	69.75	36.40	37.60	133.75	135.10
45	70.80	36.75	38.10	134.10	135.90
50	71.80	37.10	38.70	134.60	136.60
55	72.80	37.50	39.30	135.10	137.40
60	74.00	37.90	39.90	135.60	138.20
65	75.00	38.30	40.55	136.15	139.10
70	76.10	38.60	41.10	136.50	139.80
75	77.20	39.00	41.70	137.00	140.60
80	78.35	39.30	42.20	137.40	141.30
85	79.50	39.65	42.80	137.90	142.20
90	80.60	39.95	43.30	138.20	142.90
95	81.60	40.10	43.70	138.50	143.40
100	82.50	40.30	44.10	138.75	144.00

Brisson) ou 1,5951 à 15° (suivant Maumené). Leur chaleur spécifique est 0,301 ; ils se dilatent de 1/9 de 0 à 100° de température. Le sucre se dissout dans le tiers de son poids d'eau froide, dans le 1/4 de son poids d'eau à 80° et dans le 1/5 de son poids d'eau à 100°. L'alcool absolu bouillant en dissout environ 1,25 0/0. L'alcool étendu en dissout davantage. Le Dr Scheibler a donné les tables de solubilité du sucre dans l'alcool et dans l'eau à différentes températures.

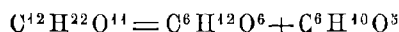
Flourens a fourni également des tables. Nous les donnons ci-contre.

Remarque. — L'alcool à 50 0/0 et à 14° de température dissout autant de sucre que l'eau y comprise. Au-dessous, le mélange en dissout davantage ; au-dessus, elle en dissout moins. A 40° de température, ce phénomène a lieu pour l'alcool à 66°.

Le sucre dévie à droite le plan de la lumière polarisée. Son pouvoir rotatoire est représenté pour la lumière jaune par :

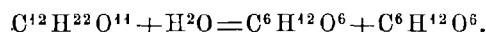
$$[\alpha]_D = 66^{\circ},5$$

Le sucre fond à 160°. Lorsqu'on le maintient longtemps à cette température, il perd son pouvoir rotatoire (Mitscherlich). On a reconnu depuis que dans ces conditions il se transforme en deux corps nouveaux, le glucose ordinaire et la *lévulosane* :



Si l'on élève plus haut la température, le sucre perd son eau, se transforme d'abord en *caramélane* ($C^{12}H^{18}O^9$), corps brun soluble dans l'eau, doué de propriétés acides équivoques ; puis viennent des corps plus déshydratés : la *caramélène* ($C^{36}H^{50}O^{23}$), la *caraméline* ($C^{48}H^{52}O^{26}$), corps bruns qui existent à l'état soluble et insoluble. Enfin, en passant jusqu'à la distillation sèche, il ne reste plus que le carbone, avec formation d'oxyde de carbone, d'acide carbonique, de gaz des marais, d'acide acétique, d'aldéhyde, d'acétone, d'hydrogènes carbonés liquides et de produits empyreumatiques.

Lorsque l'on dissout le sucre dans l'eau et qu'on le fait bouillir avec les acides, son pouvoir rotatoire passe de droite à gauche avec fixation d'eau, et le sucre s'invertit. Il se transforme alors en deux autres sucres : le glucose et le lévulose à poids égaux.



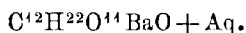
Nous reviendrons plus loin sur ce fait important. L'inversion se produit même par la simple ébullition du sucre dans l'eau, mais au bout de quelques jours seulement.

Le sucre n'est pas directement fermentescible ; il doit se transformer en sucre inverti avant de le fermenter. Il n'est pas altéré par les

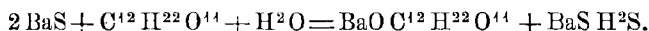
alcalis, même à 100°; au-dessus de cette température, il se décompose en acide acétique et propionique, et même, si la température est plus élevée, il se forme de l'acide oxalique et carbonique. Par la distillation avec la chaux, le sucre fournit de l'eau, de l'acétone et de la métacétone.

SUCRATES. — Le sucre joue le rôle d'acide faible vis-à-vis des bases pour faire des sucrales dont nous allons passer en revue les principaux. Il fait ensuite avec certains sels des combinaisons fort importantes par le rôle qu'elles jouent dans la cristallisation du sucre et la formation des mélasses. Nous étudierons en détail celles qui sont déjà connues.

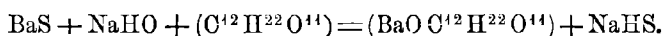
Sucrate de baryte. — Lorsqu'à une solution aqueuse de sucre, on ajoute une solution saturée et bouillante de baryte, le tout se prend en une masse cristalline de sucrate de baryte.



Le sucrate de baryte s'obtient également en solution en ajoutant à froid une solution de baryte dans une solution de sucre. On le prépare aussi, selon Dubrunfaut, avec le sulfure de baryum, qui donne avec le sucre la réaction suivante :



ou bien encore avec le sulfure de baryum et la soude :



La solution du sucrate de baryte jouit des propriétés générales des sels de baryte. 100 parties d'eau dissolvent 2 parties de sucrate de baryte à toute température.

Le sucre ne forme qu'une combinaison avec la baryte.

Sucrate de strontiane. — Le sucre forme avec la strontiane deux combinaisons, monobasique et bibasique. Le sucrate bibasique s'obtient en chauffant le sucre en présence d'au moins deux équivalents de strontiane. Par le refroidissement le sucrate bibasique se décompose en monobasique.

Sucrates de chaux. — Le sucrate de chaux est beaucoup plus important par le rôle immense qu'il joue dans la fabrication du sucre.

Lorsque l'on mélange un lait de chaux avec une solution de sucre assez concentrée et que l'on filtre rapidement, on obtient un liquide limpide, incolore, qui est une combinaison de sucre avec la chaux, en rapports indéterminés. Chauffe-t-on cette solution, elle se trouble s'épaissit et se prend en masse. Par le refroidissement, si la liqueur

primitive n'est pas trop concentrée, le magma se redissout; sinon il reste souvent solide, même à froid, et ne se redissout que par l'addition d'une certaine quantité de sucre. Il arrive aussi que certains sucrares ne se troublent pas du tout par l'ébullition, tandis que d'autres ne présentent qu'un trouble léger.

On comprend que, pour la fabrication, il soit fort important de connaître les cas divers dans lesquels on se trouvera pour éviter, par l'ébullition avec la chaux, des pertes de sucre par précipitation.

Les auteurs décrivent trois espèces de sucrares (nous emploierons la formule $C^{12}H^{11}O^{11}$ dans l'étude des sucrares de préférence à $C^{24}H^{22}O^{22}$ pour simplifier les explications, et la notation en équivalents comme ont été écrits les mémoires se rapportant à ces études).

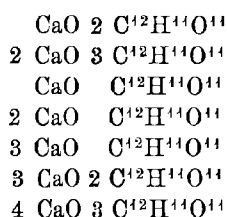
Le *sucrate tribasique* $C^{12}H^{11}O^{11}3CaO$. C'est le précipité qui se forme par l'ébullition d'un sucrate de chaux, qu'il se forme en masse ou non.

L'alcool versé dans une solution de sucrate de chaux, forme un précipité qui serait :

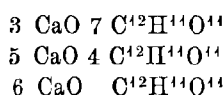
Le *sucrate bibasique* $C^{12}H^{11}O^{11}2CaO$, lorsque le sucrate en solution contient un grand excès de chaux.

Le *sucrate monobasique* $C^{12}H^{11}O^{11}CaO$, lorsque le sucre est lui-même en excès.

Ces sucrares ne sont pas les seuls qui puissent exister. Péligot a observé les combinaisons suivantes :



auxquelles nous croyons pouvoir ajouter, d'après nos expériences :

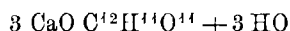


Les rapports de combinaison du sucre à la chaux sont donc très variables. Toutes ces combinaisons sont solubles dans l'eau sucrée, ce qui multiplie à l'infini les rapports du sucre à la chaux, mais les combinaisons précédentes sont seules admises comme combinaisons définies.

Nous allons étudier en détail les combinaisons que forme le sucre avec la chaux et aussi avec l'acide carbonique.

La connaissance de ces combinaisons est de premier ordre pour la théorie du travail du jus, c'est pourquoi nous nous y sommes attachés tout particulièrement, et avons fait le travail qui suit, qui est le résultat de plusieurs années de recherches.

CONSTITUTION DU SUCRATE DE CHAUX. — Le sucrate de chaux à composition bien définie que l'on a préparé le plus facilement est le *sucrate tribasique*, que l'on obtient par l'action de la chaleur sur une solution de chaux dans du sucre. Il se forme un précipité dont la constitution a été bien étudiée par plusieurs auteurs. Desséché sa formule est :

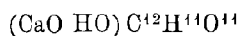


que nous préférons écrire $(\text{CaO.HO})^3\text{C}^{12}\text{H}^{11}\text{O}^{11}$.

Car dans les combinaisons de sucre avec la chaux, celle-ci se présente soit à l'état de CaO, soit à celui de (CaOHO) d'où deux séries de sucrares bien distinctes, l'une contenant HO dans sa constitution, l'autre n'en contenant pas.

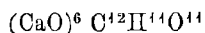
Lorsque l'on dissout le sucrate tribasique dans une solution sucrée, en ayant soin que le sucrate tribasique, soit en excès, le liquide qui surnage contient exactement un équivalent de chaux pour un équivalent de sucre.

Desséché, ce *sucrate monobasique* a la formule :

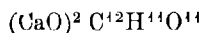


Le sucrate monobasique et le sucrate tribasique contiennent HO dans leur constitution.

D'autre part si l'on déshydrate le sucrate tribasique par l'alcool absolu, on obtient le *sucrate sexbasique* qui est anhydre :



deux équivalents de sucrate tribasique donnent un équivalent de sucrate sexbasique par élimination de la moitié du sucre. De même si l'on déshydrate le sucrate monobasique par l'alcool absolu, on obtient pour la même raison le *sucrate bibasique*.



Tous ces sucrares sont solubles dans l'eau sucrée, pour former les sucrares intermédiaires dont nous avons donné la liste précédemment.

L'existence de ces sucrares est prouvée non seulement par leur mode de préparation, mais par les sucrocarbonates correspondants que nous allons étudier plus loin.

Il est utile en effet d'avoir deux preuves pour une de leur existence, car, ces produits ne cristallisant pas, on peut les révoquer en doute.

Grâce à l'action de l'acide carbonique sur les sucrates de chaux, ce doute ne peut exister.

Nous allons étudier d'abord le sucrate tribasique, point de départ de toutes ces expériences, et verrons ensuite les sucrocarbonates dérivant de ces différents sucrates.

SUR LES COMBINAISONS DU SUCRE, DE LA CHAUX ET DE L'ACIDE CARBONIQUE
EN PRÉSENCE DE L'EAU.

On sait depuis longtemps que lorsqu'on chauffe un composé de sucre et de chaux en solution de densité convenable, cette solution se trouble, et le corps qui se précipite dans ces circonstances est du sucrate tribasique de chaux.

De plus, Pélégot, dans son rapport présenté à l'Académie des sciences en 1851, fait remarquer que dans un état convenable de concentration, la solution de sucre et de chaux se coagule comme l'albumine de l'œuf, mais que « le précipité calcaire disparaît à mesure que sa température s'abaisse, et le liquide redevient limpide et transparent, avant même qu'il soit entièrement refroidi. »

Enfin différents chimistes, et, en dernier lieu, Boivin et Loiseau, ont cherché à donner dans leurs théories l'explication de tous ces phénomènes.

Conduit par nos études à reproduire ces expériences, nous avons observé quelques phénomènes nouveaux qui nous ont obligé à rechercher les différentes conditions dans lesquelles tous ces faits se produisent.

En chauffant à 100° des combinaisons limpides de sucre et de chaux, il se présente deux cas : ou le sucrate se trouble par précipitation du sucrate tribasique, ou il reste limpide. Voici, sur ces deux faits, les points principaux que nous avons remarqués :

1° Lorsqu'un sucrate de chaux ne se trouble pas à 100°, on peut toujours, quelle que soit sa composition, y provoquer la précipitation du sucrate tribasique à cette température, par une addition d'eau suffisante ;

2° Lorsque, dans une solution de sucrate quelconque se troublant par la chaleur, on ajoute un excès de sucre suffisant, la température de 100° n'y provoque plus aucune espèce de précipitation ;

3° Plus on augmente la quantité de chaux dans un sucrate, plus ce composé a de tendance à se coaguler à 100° ; et moins il y a de chaux, plus il faut que la densité soit élevée pour que ce phénomène se produise ;

4° Cette masse de sucrate, ainsi obtenue, se redissout par le refroidissement, lorsque la densité de la solution est suffisamment faible ;

5° Lorsque la densité est élevée, cette masse ne se redissout pas par le refroidissement et reste prise ainsi indéfiniment. L'eau ne la détruit que fort lentement, et l'eau sucrée la dissout ;

6° Tous les sucrales de chaux jouissent de la propriété de se troubler à 100°, à une densité suffisamment élevée ; de redevenir limpides à une densité moyenne de 10° Baumé environ, et enfin de se troubler de nouveau à une densité plus faible. Cependant ces phénomènes ne se reproduisent plus lorsque les sucrales contiennent un grand excès de chaux, excès dont nous n'avons pas encore déterminé la limite.

L'explication de tous ces faits découle simplement de la nature et des propriétés du sucrate tribasique de chaux. Selon nous, étant donnée une solution froide, limpide, contenant du sucre et de la chaux en proportions quelconques, *la chaleur favorise la combinaison de la chaux avec le moins de sucre possible* (1). Il se formera donc du sucrate tribasique, de telle sorte que toute la chaux entre dans cette combinaison, le sucre en excès restant libre.

Or, on sait que le sucrate tribasique de chaux, est soluble dans l'eau sucrée, plus à froid qu'à chaud, et d'autant plus qu'elle est plus dense ; l'eau sucrée *très étendue* dissout très mal le sucrate tribasique ; l'eau froide en dissout fort peu et l'eau chaude encore moins.

Avec cela on peut se rendre un compte assez exact des phénomènes précédents, que je vais prendre l'un après l'autre :

1° Lorsque l'on chauffe un sucrate de chaux, si la chaleur provoque la formation du sucrate tribasique, pour qu'il puisse se précipiter il est nécessaire que le milieu dans lequel il se trouve ne le dissolve pas. Or, s'il se forme une trop grande abondance d'eau sucrée lorsque l'on donne naissance au sucrate tribasique en sorte que la dissolution s'opère, en ajoutant de l'eau, cette eau sucrée deviendra moins apte à dissoudre le sucrate tribasique, et celui-ci se précipitera, puisque l'eau sucrée *étendue* ne dissout pas le sucrate tribasique. Si donc, la solution d'un sucrate de chaux ne se troublait pas à la température de 100°, en étendant la liqueur suffisamment on arriverait *toujours* à provoquer la précipitation, par la formation d'un milieu dans lequel le sucrate tribasique serait moins soluble ;

2° Par contre, si l'on ajoute assez de sucre dans une solution de sucrate de chaux qui laisse déposer à 100° du sucrate tribasique, on arrivera à ne plus obtenir de précipitation. On conçoit que si alors on ajoute

1. Ce théorème est en parfaite concordance avec les lois de la thermochimie établies par Berthelot depuis que ces lignes ont été écrites dans notre 4^{re} édition.

de l'eau la précipitation reparaitra, par addition de sucre disparaîtra encore, et ainsi de suite ;

3° Lorsque la liqueur est suffisamment dense, et que l'excès de sucre n'est pas considérable, le sucrate tribasique qui se forme est tellement abondant que le liquide se prend entièrement en masse. C'est l'observation que beaucoup de chimistes ont pu faire, et qui est mentionnée par Péligot dans son rapport à l'Académie. Nous avons remarqué, du reste, que la densité nécessaire pour cette prise en masse était d'autant plus faible que le sucrate contenait un excès de chaux plus grand. Ainsi les sucrares de composition suivante :

171	de sucre	et	29,6	de chaux
171	—		35	—

Se prennent en masse aux densités respectives suivantes :

1,1502
1,0402;

4° Dans tous les cas précédents, aussitôt que la liqueur se refroidit elle redevient limpide comme auparavant. Tous ces faits peuvent s'expliquer, que l'on admette ou non la préexistence du sucrate tribasique dans les sucrares de chaux, comme le pensent Boivin et Loiseau. Mais les faits suivants nous paraissent inexplicables dans l'hypothèse de ces derniers chimistes ;

5° Lorsque l'on chauffe à 100° un des sucrares précédents concentrés de manière à avoir une densité élevée, 1,1609 par exemple, pour le sucrate contenant 171 de sucre pour 35 de chaux, la liqueur se prend en masse fort compacte. Par le refroidissement la masse est légèrement moins dense, mais reste gélatineuse indéfiniment, quelqu'agitation qu'on lui communique pour vaincre l'inertie moléculaire qui empêcherait la redissolution, à cause de la haute densité du liquide primitif.

Lorsque l'on ajoute de l'eau, à la longue la masse finit par se désagréger et se dissoudre. L'eau sucrée la dissout de suite.

On est dans l'impossibilité de concevoir cette résistance à la dissolution en supposant que le sucrate tribasique existât tout formé dans la liqueur primitive. Il est plus probable qu'il n'existait pas, qu'il a pris naissance par l'action de la chaleur, et qu'il ne peut plus se redissoudre à cause des conditions nouvelles où se trouve le liquide. Il faut donc rechercher les éléments qui sont en présence.

Si l'on jette cette masse sur un filtre, qu'on lave à l'eau tiède, la liqueur filtrée analysée m'a donné, à peu de chose près, la composition du sucrate monobasique. Soit 171 de sucre pour 28 de chaux.

Dans le sucrate employé, le sucre et la chaux sont dans le rapport de 4 éq. de sucre pour 5 éq. de chaux (ou, pour faciliter le raisonnement, de 24 de sucre et de 30 de chaux). Mes expériences ont porté sur 58 g. 202 de la solution du sucrate précédent, fournissant 17,33 de résidu sec. Or, j'ai trouvé :

Sur le liquide filtré 6,00 de sucrate tribasique.

Dans le liquide filtré 12,04 de sucrate monobasique.

Lorsque l'on chauffe, toute la chaux se transformerait en sucrate tribasique, ce qui donnerait :

10 éq. de sucre unis à 30 éq. de chaux.

14 éq. de sucre libre.

Lorsqu'on laisse refroidir, nous avons fait remarquer que la masse devenait moins dense, ce qui annonce un changement dans la composition du magma. Or, en filtrant, nous retrouvons que le sucre libre s'est emparé, en refroidissant, d'un équivalent de chaux aux dépens d'une certaine quantité de sucrate tribasique, lequel perd donc deux équivalents de chaux. En sorte que, finalement, on ne retrouve dans ce magma que du sucrate tribasique et du sucrate monobasique dans les proportions de :

3 éq. sucrate tribasique.

21 éq. sucrate monobasique.

Nous devrions donc avoir théoriquement les nombres :

$$\begin{array}{r} 5,66 \text{ sucrate tribasique anhydre.} \\ \frac{11,67}{17,33} \text{ — monobasique.} \end{array}$$

Les nombres de l'expérience sont donc un peu forts, car le sucrate tribasique n'est pas pesé anhydre, et au sucrate monobasique s'ajoute forcément une certaine quantité de sucrate tribasique dissous dans les lavages.

Donc : *Un sucrate à haut équivalent de chaux et de haute densité chauffé à 100°, puis refroidi, se transforme en un mélange de sucrate tribasique qui reste solide dans la masse, et de sucrate monobasique qui reste dissous dans la liqueur.*

On ne peut sans doute pas, d'après cela, donner une théorie complète de la dissolution de la chaux dans le sucre, mais cette expérience écarte l'hypothèse de la préexistence du sucrate tribasique tout formé dans les solutions de sucrate de chaux, pour laisser le champ libre aux autres ;

6° Lorsque l'on chauffe un sucrate de chaux, d'après ce que nous venons de voir, si la densité est élevée, le sucrate tribasique se précipite

et se prend même en masse. Si elle est faible, la précipitation apparaît aussi. Donc la précipitation du sucrate tribasique apparaît dans deux conditions extrêmes, soit par excès de densité, soit par trop faible densité. Entre ces deux densités extrêmes, les sucrares de chaux restent limpides à 100°. Ainsi le sucrate :

28 de chaux pour 201,5 de sucre	
Louchit fortement à une densité de	1,153
Est limpide à	1,077
Louchit de nouveau à	1,065
De même le sucrate monobasique :	
28 de chaux pour 171 de sucre	
Louchit vers	1,200
Reste limpide vers	1,080
Louchit de nouveau vers	1,071

On voit donc que plus l'excès de chaux est grand, plus l'écart entre les densités extrêmes auxquelles le sucrate tribasique se précipite est petit. L'on conçoit donc une limite très proche, qui n'est pas encore déterminée, où les sucrares ne présenteront plus cette particularité de rester limpides à 100°. C'est à une densité voisine de 10 ou 11° de l'aéromètre de Baumé que ce phénomène a lieu pour tous les sucrares à excès de sucre.

Dans tout ce qui précède, nous avons parlé en termes vagues des densités plus ou moins fortes ou faibles auxquelles les différents sucrares de chaux doivent se troubler ou se prendre en masse. Il serait utile de déterminer les limites supérieures et inférieures des densités auxquelles un sucrate commence à se troubler, puis celles auxquelles les mêmes sucrares se prennent en masse, et enfin les conditions nécessaires pour qu'ils restent pris en masse. En faisant des tableaux comparatifs de ces différentes densités et des compositions correspondantes des liquides, on pourra établir la solubilité du sucrate tribasique de chaux à 100° dans l'eau sucrée aux différentes densités, et peut-être résoudre le problème de la solution de la chaux dans le sucre.

La série des liquides calco-sucrés commençant à se troubler à 100° peut s'établir ainsi :

Étant donné un sucrate de chaux défini en dissolution, ajouter successivement des quantités égales d'une solution sucrée de composition donnée, et voir, après chaque addition, la quantité d'eau nécessaire à ajouter pour produire la précipitation à 100° du sucrate tribasique.

Nous sommes partis du sucrate à 1 éq. du sucre pour 1 éq. de chaux préparé avec des liqueurs titrées de sucre et de sucrate de chaux. C'est le moyen le plus sûr de l'obtenir, attendu que l'alcool, versé dans un

sucrate à excès de sucre ou de chaux, produit toujours l'entraînement de quantités de sucre ou de chaux abondantes et difficiles à séparer dans la précipitation du sucrate monobasique.

En opérant ainsi, nous avons obtenu le tableau suivant :

Pour 28 de chaux	Densité à laquelle le liquide commence à se troubler à 100°.
Sucres 171	1,071
201,5	1,065
232	1,060
262,5	1,050
293	1,050
323,5	1,0474
354	1,0460
384,5	1,0454

Ce tableau montre qu'à mesure que l'excès de sucre devient plus grand la densité du liquide au sein duquel se précipite le sucrate tribasique devient plus faible, mais que la différence des densités n'est pas proportionnelle aux excès de sucre. De plus, cette série part du sucrate monobasique, mais elle peut se continuer en sens inverse, c'est-à-dire pour les sucrales à excès de chaux. Ainsi, nous avons observé que le sucrate contenant :

171 de sucre, 28,18 de chaux

ne louchissait pas vers 1,148 de densité.

Mais, en étudiant des sucrales dont la densité et l'excès de chaux augmentent de plus en plus, on parviendrait ainsi aux sucrales se prenant en masse à 100°, par conséquent à un point tel que les limites supérieures et inférieures coïncideront. Il est donc probable que les conditions nécessaires pour la prise en masse des sucrales à 100° découleront de celles observées dans les séries des nombres précédents, et que tout ces faits se confondront finalement dans une seule et même loi de solubilité à 100° du sucrate tribasique de chaux dans l'eau sucrée. C'est ce que nous vérifierons plus tard.

Voyons maintenant l'action de l'acide carbonique sur les sucrales. Nous commencerons cette étude par celle de l'hydrosucrocarbonate de chaux, qui fut le point de départ de la connaissance des sucro-carbonates de chaux en général.

SUR L'HYDROSUCROCARBONATE DE CHAUX.

Lorsque l'on soumet une solution de sucrate de chaux à l'influence de l'acide carbonique, ce gaz est absorbé en quantité considérable. Suivant que cette absorption se fait lentement ou vite, on remarque des résultats

entièrement différents. Abandonne-t-on, par exemple, un sucrate de chaux en solution limpide, à l'action de l'air, le liquide, au bout d'un certain temps, se couvre de cristaux relativement volumineux de carbonate de chaux formant une croûte à la surface et tapissant les parois du vase. Ces cristaux offrent des formes très complexes laissant à peine entrevoir la forme primitive, qui, selon Gay-Lussac, est un rhomboèdre très aigu. Si l'on étudie le liquide dans lequel nagent ces cristaux on le trouve surchargé d'une quantité considérable d'acide carbonique.

Si, au contraire, on fait passer un courant d'acide carbonique dans un sucrate de chaux pesant 12 ou 13 degrés Baumé, le phénomène prend un caractère tout différent. Kuhlmann, dans une lettre adressée à Pelouse et publiée, en 1838, dans les *Annales*, s'exprime ainsi : « J'a répété l'essai de M. Daniell : une dissolution assez concentrée de saccharate de chaux....., j'y ai fait passer un courant d'acide carbonique, et le tout s'est pris en masse blanche gélatineuse, demi-transparente. »

Dubrunfaut, en 1851, communiquait à l'Académie des sciences une série de faits très remarquables découverts par lui sur les sucrares insolubles. Parmi eux se trouvait celui-ci : « Un sucrate monobasique traité par l'acide carbonique ne se trouble pas lorsque la dissolution renferme 1/3 d'équivalent de carbonate de chaux pour l'équivalent de sucre. Dans ce cas, le sucre retient encore 2/3 d'équivalent de CaOCO^2 précipité dans un état de division extrême, et l'équivalent de sucre reste en dissolution avec 1/3 d'équivalent de chaux, ne retenant en dissolution que des traces de carbonate. »

Feltz, reprenant plus tard ces travaux, à propos des réactions qui accompagnent les procédés d'épuration à la chaux et à l'acide carbonique des jus sucrés, remarquait que, non seulement l'acide carbonique, mais que presque tous les autres acides produisaient des faits analogues. Ainsi, si l'on verse dans un sucrate de chaux de l'acide sulfurique étendu, il ne se forme d'abord aucun précipité ; puis il apparaît sous l'aspect d'un nuage qui se redissout après dans un excès d'acide.

Les acides chlorhydrique, tartrique, citrique, etc., produisent le même phénomène. De plus, il a remarqué que l'on peut compléter l'action d'un acide par un autre. Ainsi, lorsque l'on a fait absorber au sucrate de chaux une certaine quantité de gaz carbonique, si l'on ajoute dans la liqueur encore limpide de l'acide chlorhydrique étendu, il se forme, sans la moindre effervescence, un précipité qui contient, paraît-il, de l'acide carbonique. L'effervescence ne commence qu'après la dissolution du précipité dans un abondant excès d'acide.

Nous avons remarqué qu'un sucrate de chaux, dans lequel on a produit un fort léger précipité par l'acide sulfurique, laisse déposer des petits

cristaux en lames plates et rectangulaires contenant de la chaux, du sucre et de l'acide sulfurique, tandis qu'un excès d'acide provoque la précipitation de sulfate de chaux cristallisé en aiguilles fines. Ces faits forts remarquables, dont l'étude est à peine ébauchée, sont destinés à jeter un grand jour sur les combinaisons de l'acide carbonique avec les sucres de chaux, et, du reste, donnent un moyen simple de reconnaître la présence de l'acide carbonique dans ces solutions par une simple addition d'acide chlorhydrique.

Tandis que Feltz travaillait en Russie, Boivin et Loiseau étudiaient des faits analogues en France, et donnaient à la combinaison de sucre, de chaux et d'acide carbonique le nom d'*hydrosucrocarbonate de chaux*. Comme on ne connaît encore que fort peu de choses sur ce corps remarquable, nous avons fait quelques recherches encore incomplètes, mais caractéristiques, sur sa composition et la manière dont il prend naissance.

De même que, dans les solutions calco-sucrées, le rapport du sucre à la chaux est indéfiniment varié, de même les composés carboniques que forme chacun d'eux sont entièrement différents dans leurs formules.

Voici quelques exemples :

AUTEURS	SUCRATE EMPLOYÉ	ACIDE CARBONIQUE absorbé POUR 28 DE CHAUX (1 Eq.)
Boivin et Loiseau	6 Eq. CaO 1 Eq. Suc.	11,00
Horsin-Déon	5 — 4 —	4,40
Horsin-Déon	5 — 3 —	13,20
Horsin-Déon	3 — 2 —	16,28
Dubrunfaut	1 — 1 —	14,70
Horsin-Déon	1 — 1 —	15,90

D'après cela, il est impossible de découvrir une loi réglant l'absorption du gaz carbonique pour former le magma que nous appellerons dorénavant, comme Boivin et Loiseau, hydrosucrocarbonate de chaux, et dont nous allons étudier le mode de formation et les propriétés.

La densité qui, généralement, réussit le mieux pour la formation de ce corps, correspond à 12 ou 13° B. Dans une solution de sucre à 5 ou 6°, la trop grande proportion d'eau empêchant la coagulation du magma, il ne se fait pas et le carbonate de chaux se précipite. On s'est demandé alors si l'hydrosucrocarbonate prend naissance réellement dans ces conditions, ou si simplement il se forme du carbonate de chaux. Or, un examen attentif des faits rend un compte exact de ce qui se passe dans tous les cas.

Examinant la manière dont se comporte un courant de gaz carbonique

dans une solution limpide à 12° B. de sucrate de chaux monobasique, on voit que les premiers effets de l'acide carbonique paraissent être nuls, les bulles de gaz s'absorbant dans le liquide sans en changer l'aspect. Au bout de quelques instants des mousses se forment à la surface, blanchissent et se forment en empois. Bientôt toute la masse prend une teinte opaline qui devient de plus en plus intense, mais sans que l'œil puisse apercevoir la moindre trace de structure définie, autre que des particules gélatineuses qui nagent au sein du liquide et finissent par devenir tellement nombreuses que tout se prend en masse. Tels sont les phénomènes qui frappent facilement la vue de l'observateur.

Sachant de plus que cette gelée est soluble entièrement dans l'eau calco-sucrée, et que l'eau sucrée la décompose rapidement en carbonate et sucrate de chaux, nous aurons tous les éléments nécessaires pour nous rendre compte de tous les phénomènes qui se présentent. Chaque bulle de gaz, dès le commencement de l'opération, produit de l'hydrosucrocarbonate. En effet, pourquoi les premières portions de gaz ne semblent-elles produire aucun effet, autrement que parce que l'hydrosucrocarbonate se redissout au fur et à mesure au sein du liquide calco-sucré jusqu'à concurrence de « 1/3 d'équivalent de carbonate de chaux pour l'équivalent de sucre » comme le dit Dubrunfaut. Ce rapport étant bientôt dépassé, le liquide devient louche, l'hydrosucrocarbonate se précipite et finit par se prendre en masse, intercalant l'eau dans son réseau. Dubrunfaut, en 1851, ne croyait pas à l'existence d'un composé particulier, et supposait que ce magma était composé uniquement par la précipitation du carbonate de chaux « dans un état de division extrême. »

Si, maintenant, nous prenons une solution de sucrate de chaux ne pesant que 5° Baumé et que nous fassions passer avec beaucoup de précaution le gaz carbonique, on remarque identiquement les mêmes faits. Le gaz s'absorbe d'abord sans troubler le liquide, puis le corps gélatineux apparaît en flocons qui nagent dans la liqueur ; enfin, le maximum d'hydrosucrocarbonate étant arrivé, le liquide change subitement d'aspect. Il était auparavant presque diaphane et présentait une teinte opaline ; tout à coup toute la masse devient blanche et latescente par la précipitation du carbonate qui tombe rapidement au fond du vase.

Il se forme au détriment de l'hydrosucrocarbonate qui se décompose en présence de l'eau sucrée qui prend naissance quand on dépasse la quantité convenue d'acide carbonique. On voit donc que les phénomènes sont identiquement les mêmes, que l'on opère sur un sucrate de faible ou de forte densité. Donc, en quelque condition qu'on se trouve, il se forme *toujours* de l'hydrosucrocarbonate toutes les fois que l'on fait

passer de l'acide carbonique dans un mélange de sucre et de chaux.

L'hydrosucrocarbonate fait à froid a la propriété de se décomposer par la chaleur. De là on avait cru pouvoir conclure à l'impossibilité de le faire à chaud; cette assertion est inexacte. Voici les expériences que nous avons faites pour nous en assurer.

Le sucrate de chaux monobasique, comme je l'ai démontré dans un autre travail, jouit de la propriété, vers 10° Baumé, de ne pas former de précipité de sucrate tribasique quand on le chauffe à 100°; c'est sur une pareille liqueur que j'ai opéré. Si l'on y fait passer à froid un courant de gaz carbonique, les phénomènes cités plus haut se reproduisent; l'hydrosucrocarbonate formé dans ces circonstances a la propriété, par l'action de la chaleur, de se décomposer en un liquide et un précipité abondant.

A 40° C, l'opération réussit aussi bien qu'à 15° sans différence sensible, seulement le temps pendant lequel la liqueur absorbe le gaz est plus prolongé sans qu'il se forme de trouble. D'ailleurs, le magma final se décompose aussi à 100°.

A 80° C, le phénomène ne se présente pas tout à fait de la même manière; le liquide absorbe des quantités considérables de gaz sans louclir et sans faire de mousse; ce n'est que vers la fin que le liquide devient opalescent et se prend en masse presque aussitôt. De plus la chaleur de l'eau bouillante a beaucoup plus de peine à détruire ce magma que dans les expériences précédentes. Enfin la précipitation ordinaire se forme.

Finalement, si l'on porte le sucrate à 100°, le gaz carbonique est absorbé pendant fort longtemps sans que le liquide perde de sa limpidité; il ne se forme pas de mousse. Tout à coup le liquide louchit, le gaz refuse de passer, le liquide est pris tout entier en masse presque translucide. En vain continue-t-on à chauffer après l'arrêt du gaz, la chaleur de 100° n'a plus d'action sur ce corps.

Comment expliquer ces faits curieux et qui semblent contradictoires? On peut le faire par de simples observations de solubilité.

Le corps gélatineux est soluble dans l'eau calco-sucrée, et d'autant plus que la liqueur est plus chaude. Si donc on forme à froid ce corps gélatineux, il se trouve précipité au sein d'un liquide sur saturé. Chauffé-t-on, il tend à se redissoudre; mais en même temps, l'eau calco-sucrée dissolvante change de nature.

A 100°, elle se transforme en mélange d'eau sucrée et de sucrate tribasique de chaux, comme le démontre Pélégot dans ses mémoires, et cette eau sucrée en excès détermine la précipitation d'une certaine quantité de carbonate de chaux, selon ce que nous disions précédemment, tandis

que l'hydrosucrocarbonate reste dissous dans la liqueur, comme on peut s'en assurer par les réactions de Feltz. Une autre preuve à l'appui de cette théorie est que si l'on carbonate une solution de sucre contenant très peu de chaux, le magma se forme, mais se défait immédiatement sans le secours de la chaleur sous l'influence du sucre en excès. Si donc on fait la même opération à 80 ou 100°, à mesure qu'il prend naissance l'hydrosucrocarbonate se dissout dans la liqueur, et d'autant plus qu'elle sera plus chaude. On comprend que dans ces conditions la chaleur n'aie plus d'action sur ce corps, puisqu'il ne se précipite que quand le maximum de concentration est obtenu.

Nous avons essayé la carbonatation à 100° des mêmes sucrates à des densités telles qu'ils se prennent en masse à cette température. On arrivait alors au résultat suivant : le gaz dissolvait petit à petit toute la masse, le liquide devenait limpide, puis finalement le magma d'hydrosucrocarbonate se formait.

Les propriétés de l'hydrosucrocarbonate de chaux sont donc les suivantes :

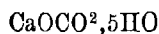
Composition variant avec celle des sucrates employés et avec la température ; solubilité dans l'eau sucrée en présence de la chaux ; décomposition en sucrate de chaux et carbonate de chaux par l'eau sucrée pure, et possibilité de formation à quelque température que l'on opère, et quelle que soit la densité du liquide employé.

Nous allons dans ce qui va suivre généraliser l'action de l'acide carbonique sur les sucrates de chaux, et passer en revue tous les sucrocarbonates.

SUR LES SUCROCARBONATES DE CHAUX

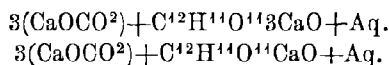
Nous venons de voir que lorsqu'on fait passer un courant de gaz acide carbonique en présence d'un sucrate de chaux défini ou de son mélange avec un excès de sucre, le gaz carbonique est absorbé d'abord sans produire de précipité ; puis, lorsque l'on opère à une densité suffisamment élevée, suivant la composition du sucrate, le tout se prend en une masse régulière et entièrement gélatineuse dans certains cas ; dans d'autres, au contraire, la masse prend difficilement naissance, surmontée d'une couche de liquide plus ou moins laiteuse. Finalement, pour tous les sucrates, l'excès d'acide carbonique détruit le magma en formant un précipité de carbonate de chaux qui entraîne toute la chaux contenue dans le sucrate et l'eau sucrée. Chauffe-t-on au contraire ce magma lorsqu'il a été fait à froid, il se détruit généralement par précipitation d'une certaine quantité de carbonate, et le liquide contient encore du sucrate de chaux à grand excès de sucre.

L'acide carbonique absorbé forme du carbonate de chaux hydraté dissout dans le sucrate de chaux, car on remarque que lorsqu'on abandonne à lui-même un sucrate de chaux dans lequel on a dissous une certaine quantité d'acide carbonique, il se forme bientôt de petits cristaux qui ont, selon Pelouze, la composition :



On remarque que si l'on pèse l'acide carbonique absorbé par un sucrate pour former ce magma, son rapport à l'équivalent de chaux est toujours le même pour un même sucrate, et varie avec la composition du sucrate, ce qui prouve une composition variable des sucrocarbonates dans différents cas. Il y a donc plusieurs espèces de sucrocarbonates.

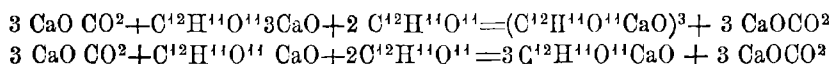
Et, en effet, lorsque l'acide carbonique réagit sur un sucrate donné, il le détruit immédiatement pour former du carbonate de chaux et le sucrate hydraté d'ordre immédiatement inférieur à celui sur lequel on opérait. Le carbonate de chaux hydraté se combinera-t-il à ces sucra-tes de chaux différents de la même manière? L'expérience prouve d'abord que 3 équivalents de carbonate de chaux s'unissent à 1 équivalent de sucrate monobasique ou tribasique pour former les combinaisons suivantes :



La première combinaison est à proprement parler celle qui a été nommée par MM. Boivin et Loiseau hydrosucrocarbonate de chaux et provient de l'action du gaz carbonique en présence de l'eau sur le sucrate à 6 équivalents de chaux.

L'autre se forme dans tous les autres cas.

Ces sucrocarbonates jouissent de la propriété de se décomposer en carbonate et sucrate de chaux lorsqu'on les met en présence d'une quantité de sucre suffisante pour former, avec le sucrate du sucro-carbonate, le sucrate d'ordre inférieur, soit, dans les deux cas, deux équivalents de sucre.



La seconde formule se forme avec le sucrate $3\text{C}^{12}\text{H}^{11}\text{O}^{11}, \text{CaO}$.

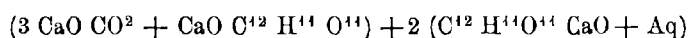
En effet, si l'on ajoute moins de sucre, la réaction n'a pas lieu; elle commence seulement pour deux équivalents. Nous verrons plus loin le cas d'un excès de sucre plus grand.

L'existence d'un sucrate défini $3\text{C}^{12}\text{H}^{11}\text{O}^{11}, \text{CaO}$ est donc constatée par cette expérience.

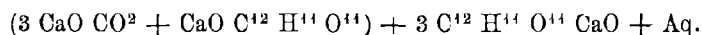
Les sucrocarbonates jouissent aussi de la propriété fort remarquable de former une sorte de combinaison double avec certains sucrates de chaux. Ce fait se voit facilement par l'action de l'acide carbonique. Lorsque l'on fait passer un courant de ce gaz dans un mélange contenant du sucrocarbonate et du sucrate de chaux, ce gaz ne produit plus de magma et le détruit, au contraire, lorsque le sucrocarbonate est en présence de certaines quantités de sucrate limitées et constantes, tandis qu'il continue à épaissir la masse pour d'autres sucrates.

On peut se laisser guider sur l'état de composition de la masse par l'action de l'acide carbonique. Ce gaz absorbé par les solutions un peu concentrées, formant des magmas parfaitement stables à l'abri de l'acide carbonique de l'air, faciles à conserver sous l'eau de chaux, il est aisé d'apercevoir, dans le cas présent, le maximum d'acide carbonique utilisé, car un excès change rapidement l'aspect du tout, et comme pour des compositions relativement fort peu différentes des sucrates, à des densités égales, les quantités d'acide carbonique absorbées pour former le magma varient beaucoup, on ne peut admettre l'effet du hasard ni de la densité, et l'on est forcé de reconnaître un véritable phénomène de combinaison dont nos formules rendent un compte parfaitement exact dans les conditions où sont faites nos expériences.

Le premier cas nous montre donc l'existence de combinaisons mixtes de sucrocarbonate et de sucrate. Ce fait se passe lorsque les sucrocarbonates précédents, et en particulier le 2^o dont je parlerai seul (le premier ne se rencontrant que dans un seul cas), se trouvent en présence de 2 équivalents de sucrate monobasique pour former la combinaison suivante :



ou bien en présence d'un seul équivalent du sucrate $3 \text{ C}^{12} \text{ H}^{11} \text{ O}^{11} \text{ CaO}$:



Enfin ces composés mixtes jouissent eux-mêmes de la propriété de se décomposer en carbonate de chaux et sucrate, lorsqu'ils se trouvent en présence d'une quantité de sucre suffisante pour dissoudre complètement les sucrates auxquels le carbonate de chaux est combiné. Dans le 1^{er} cas, on voit qu'il faut 6 équivalents de sucrate monobasique. Dans le 2^o cas, il en faut la même quantité, car $3 \text{ C}^{12} \text{ H}^{11} \text{ O}^{11} \text{ CaO}$ s'unit à 4 équivalents, pour faire le nouveau sucrate $7 \text{ C}^{12} \text{ H}^{11} \text{ O}^{11} \text{ CaO}$ dont les faits suivants indiqueront l'existence.

En effet, si, au lieu de 6 équivalents de sucre, on n'en fait réagir que 4, le magma, loin de se détruire, devient seulement moins épais, mais

persistant, restant diaphane par dissolution seule de $3 \text{C}^{12}\text{H}^{14}\text{O}^{14}\text{CaO}$, et capable d'absorber de nouvelles quantités d'acide carbonique pour former du sucrocarbonate, ce qui ne pouvait se faire avant l'addition du sucre ; si enfin on met moins de 4 équivalents de sucre, le magma ne se détruit point du tout.

Tels sont donc les sucrocarbonates simples et mixtes qui constituent le fonds de toutes les opérations où l'on fait passer de l'acide carbonique dans un mélange de sucre et de chaux.

Il est évident que lorsque l'on aura formé les sucrocarbonates précédents au sein d'un sucrate, il pourra rester encore en présence soit un sucrate de chaux, soit du sucre. S'il reste un sucrate de chaux, l'acide carbonique continuera son action pour former de nouvelles quantités de sucrocarbonate qui s'ajouteront à la première, jusqu'à ce que toute la chaux soit englobée dans un sucrocarbonate. Cependant suivant que l'on agit à chaud ou à froid, comme nous le verrons par des exemples, cette seconde partie de l'opération est bien différente, à cause du grand excès de sucre qu'elle met en liberté dans des cas nombreux, puisque le sucrate sur lequel on opère contient beaucoup plus de sucre que le sucrate précédent. Agit-on à froid, cet excès de sucre détruira naturellement le sucrocarbonate formé, quand bien même la fin de l'opération devrait donner une somme de sucrocarbonate suffisante pour que la quantité de sucre mise en liberté soit plus faible que celle qui serait nécessaire pour opérer cette destruction. Il arrivera donc souvent à froid que l'on devra arrêter l'action de l'acide carbonique après la première phase de l'opération, sous peine de détruire le sucrocarbonate. A chaud, au contraire, le sucrate se transformera en sucrate tribasique et en sucre, de sorte que l'action sera de suite déterminée sur toute la masse du sucrate, et l'opération sera nette et complète, mais parfois très différente de celle faite à froid.

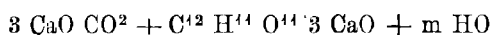
Lorsque l'on chauffe certains sucrocarbonates faits à froid, ils se détruisent parce que l'eau sucrée en présence du sucrocarbonate agit alors comme dissolvant des sucrales, toujours plus solubles à chaud, et provoque la précipitation du carbonate, tandis que, chauffés dès le principe, la précipitation du sucrate tribasique favorise la réaction totale. Il est utile dans les opérations de bien faire cette distinction entre le chauffage des liquides avant et après le passage du gaz.

Tels sont les corps et les faits qui se produisent dans les réactions. Nous allons actuellement étudier les sucrocarbonates mentionnés par différents chimistes et par nous.

1° En faisant passer un courant de gaz carbonique à froid dans un mélange de sucre et de chaux en présence de l'eau, dans les propor-

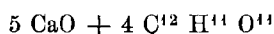
tions de $6 \text{ CaO} + \text{C}^{12} \text{H}^{14} \text{O}^{11}$, Boivin et Loiseau ont obtenu le surocarbonate correspondant.

D'après ce qui précède on doit avoir :

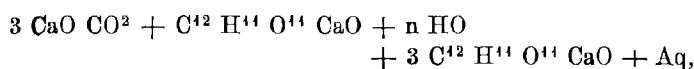


qui correspond à 11 de CO^2 pour 28 de CaO , nombre exactement obtenu par ces chimistes. On conçoit que dans ce cas particulier on ne puisse pas chauffer, car dans ces conditions on formerait à 100° le sucrate tribasique en présence d'un grand excès de chaux, et l'on ne formerait pas le surocarbonate correspondant au sucrate sexbasique.

2° En faisant passer un courant d'acide carbonique dans un sucrate limpide de composition :

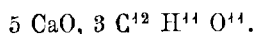


Il se formera d'après ce que nous avons dit :

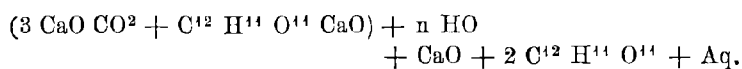


ce qui correspond à 4,4 de CO^2 pour 28 de CaO , nombre que nous avons donné exactement dans nos expériences. C'est en effet à ce moment que le liquide forme la masse la plus compacte, et que l'acide carbonique commence à précipiter du carbonate de chaux.

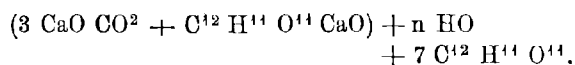
3° Nous avons formé aussi le surocarbonate du sucrate :



On aura d'abord d'après nos formules :

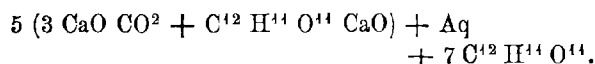


Le sucrate $\text{CaO}, 2 \text{ C}^{12} \text{H}^{14} \text{O}^{11}$ ne rentre dans aucune des formules précédentes, le gaz carbonique continuera donc son action, et c'est en effet ce qui se passe. On aura donc le surocarbonate de $\text{CaOC}^{12} \text{H}^{14} \text{O}^{11} + \text{C}^{12} \text{H}^{14} \text{O}^{11}$ qui s'ajoutera à celui déjà formé. On a pour 4 éq. de sucrate :



Il y a dans cette seconde action plus de 2 éq. de sucre mis en liberté, en sorte que si l'on agissait sur ce sucrate seul, le carbonate de chaux se précipiterait immédiatement sans formation de surocarbonate. Mais cette seconde phase de l'opération se passe conjointement avec la première, en sorte que leurs produits s'ajoutent. On a donc pour 4 éq. du

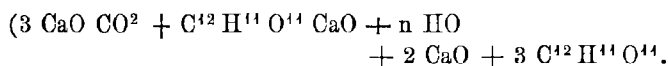
sucrate primitif sur lequel agissent 15 équivalents d'acide carbonique :



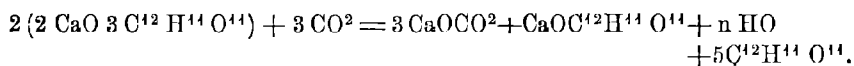
Comme il y a moins de deux équivalents de sucre pour chaque équivalent de sucrate, l'opération pourra se faire. Cependant, à cause de la deuxième phase de l'opération, elle ne s'effectuera pas toujours. A froid, l'action de l'acide carbonique s'arrêtera après la première formule, ce qui donnera 13,2 de CO^2 pour 28 de CaO, nombre que nous avons trouvé dans les expériences publiées précédemment. Mais à chaud on obtiendra la formule complète qui correspond à 16,5 de CO^2 pour 28 de CaO.

C'est l'un des cas qui peut donner le plus d'incertitude, et qui affirme la différence de composition des surocarbonates à chaud et à froid. D'ailleurs, l'expérience à froid est curieuse par les difficultés qu'elle procure. L'opération marche régulièrement jusqu'au point où finit la première action. Lorsque commence la seconde, le liquide est pris en masse, mais une couche moins dense à la surface indique que tout n'est pas transformé. On continue le courant de gaz carbonique, l'opération change d'aspect ; le liquide supérieur est laiteux, par la précipitation d'un peu de carbonate de chaux, le magma n'acquiert pas de corsé ; l'acide sans détruire le surocarbonate précédemment formé n'en donne pas de nouveau. Si l'on chauffe, au contraire, l'opération est complète.

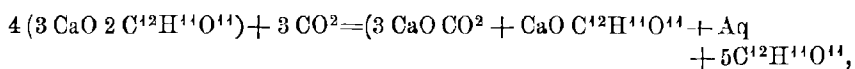
4° Lorsque l'on fait passer le gaz carbonique dans le sucrate (3 CaO , $2 \text{C}^{12} \text{H}^{11} \text{O}^{11}$), l'opération se fait encore en deux temps. On a d'abord pour 2 équivalents de sucrate, la fixation de 3 équivalents d'acide carbonique donnant :



Le sucrate $2 \text{ CaO } 3 \text{C}^{12} \text{H}^{11} \text{O}^{11}$ ne rentre dans aucune de nos formules, on a donc :

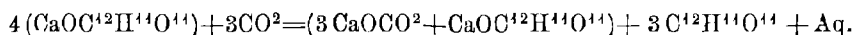


Cette seconde action est presque aussi difficile que dans le cas précédent ; c'est pourquoi le nombre fourni par l'expérience à froid est entaché d'incertitude. La somme des deux réactions donne :



ce qui correspond à 16,5 de CO^8 pour 28 de CaO . Nous n'avons obtenu que 16,28 de CO^2 tant la fin de l'opération était difficile à saisir. A chaud, le résultat est indubitable.

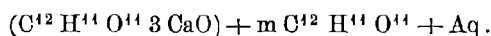
5° Le sucrate monobasique $\text{CaOC}^{12}\text{H}^{11}\text{O}^{11}$ donne aussi beaucoup d'incertitude, d'autant plus qu'il n'y a qu'une phase, très difficile. Aussi les nombres obtenus à froid par différents opérateurs diffèrent-ils sensiblement. On a :



On voit que le sucre, à chaque instant, tend à dissoudre le sucrate formé. Aussi doit-on opérer vite, et le sucrocarbonate ne peut-il se conserver.

On devrait obtenir.	16,5 de CO^2 pour 28 de CaO	
Dubrunfaut a donné	14,7	—
Nos expériences publiées.	15,9	—

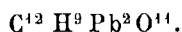
Pour terminer, nous ferons remarquer que lorsque l'on chauffe un sucrate quelconque, selon Pélilot, ainsi que d'après les expériences citées précédemment, il se transforme en :



Donc tous les sucrares précédents, traités à 100° par l'acide carbonique, se comporteront d'abord de la même manière. En effet, lorsque l'on fait passer un courant de gaz carbonique dans un sucrate à 100° , et tel que le sucrate tribasique se précipite, on voit le précipité se dissoudre par l'effet de l'acide carbonique, et finalement, lorsque tout est dissous et que le gaz termine sa réaction, le liquide se prend subitement en masse.

Donc tous les cas peuvent se ramener, à chaud, à celui-là. Telles sont les expériences principales qui m'ont amené à formuler la constitution des sucrocarbonates.

Sucrate de plomb. — L'oxyde de plomb forme avec le sucre des combinaisons définies intéressantes pour la théorie. Le sucrate de plomb peut se produire en faisant réagir la litharge ou le massicot sur les dissolutions de sucre à froid, dit Dubrunfaut; sous l'influence du temps, ces oxydes enlèvent tout le sucre à la dissolution pour former le sucrate.



Soubeyran, en traitant le sucrate de chaux $2\text{C}^{12}\text{H}^{11}\text{O}^{11}3\text{CaO}$ par l'acétate neutre de plomb, obtint un précipité de sucrate de plomb qui, analysé

de nouveau par Pélilot, contient 59,4% d'oxyde de plomb, répondant par conséquent à la formule précédente. Ce sucrate est insoluble dans l'eau froide, peu soluble dans l'eau chaude, insoluble dans l'eau sucrée froide.

Boivin et Loiseau ont indiqué un sucrate tribasique qu'ils obtiennent par la réaction à froid de l'ammoniaque, et à froid et à chaud de la potasse et de la soude, sur un mélange d'acétate neutre de plomb et de sucre. Il se forme un précipité blanc insoluble dans un excès de réactif. Il faut le laver rapidement et le sécher dans le vide. Il contient 70% d'oxyde de plomb et aurait la formule :



Ce sucrate est insoluble dans l'eau froide, peu soluble dans l'eau bouillante, très soluble dans l'eau sucrée, qui laisse déposer de cette dissolution, peu à peu, du sucrate tribasique cristallisé. On peut le préparer encore en portant à l'ébullition de l'acétate neutre de plomb et en y versant lentement une solution de sucrate de chaux à excès de sucre, ou bien encore par l'action de l'eau sucrée sur l'acétate sexbasique de plomb, ou par celle de l'alcool sur le sucrate de plomb en solution.

De la composition de ce sucrate tribasique, Boivin et Loiseau concluent pour le sucre à la composition $C^{12}H^8O^8,3HO$, qu'ils appellent acide sucrique, qui serait tribasique (*).

Remarques générales : Dubrunfaut a observé que dans le sucrate monobasique de chaux, la rotation est affaiblie de 0,13 ; dans le sucrate bibasique, du double, soit 0,26. De même, le sucre dissous dans l'eau avec un équivalent de potasse ou de soude, perd 0,13 de rotation. Une proportion d'alcali plus grande ne modifie plus la rotation. L'auteur conclut de ces faits qu'il existe un sucrate de potasse et un sucrate de soude monobasiques, correspondant au sucrate de chaux de même composition, et qu'il n'existe pas d'autres combinaisons définies de sucre avec la potasse et la soude. La strontiane et la baryte ne modifient pas la rotation du sucre.

Combinaisons du sucre avec les sels. — Le sucre s'unit avec certains sels, pour faire des composés cristallisés dont plusieurs sont des combinaisons reconnues. La plupart du temps, le sucre et le sel cristallisent côte à côte sans se combiner ; quelquefois les sels empêchent la cristallisation du sucre et sont dits mélassigènes. Nous allons passer en revue ces divers sels et leur action vis-à-vis du sucre.

1. L'appellation hypothétique des auteurs, acide sucrique, n'a pas besoin d'être admise aujourd'hui que l'on a prouvé que les sucres participent des propriétés des alcools. Il suffit de les considérer comme tels, un ou plusieurs H de leurs oxydrides pouvant être remplacés par les métaux avec lesquels le sucre entre en combinaison.

Sucre et chlorure de sodium — Parlons d'abord de la combinaison du sucre et du chlorure de sodium ; ces deux corps dissous ensemble se combinent pour former le corps suivant que nous notons en équivalents :



cristaux déliquescents contenant 3,82 de sucre pour 1 de sel ; ce sucrate cristallise très bien en même temps que le sucre en excès.

Sucre et chlorure de potassium. — Le chlorure de potassium semble faire avec le sucre une combinaison analogue, selon Violette, douée des mêmes propriétés, mais plus difficile à réaliser au laboratoire.

Sucre et sels divers. — Le nitrate de potasse cristallise en beaux cristaux dans une solution sucrée, le sulfate de potasse également, ne formant avec le sucre aucune combinaison. En général, tous les sels qui ne sont pas déliquescents cristallisent côte à côte avec le sucre, mais leur présence influe plus ou moins sur la quantité de sucre qu'une solution donnée permet de laisser cristalliser. P. Lagrange, dans un très bon travail, a donné les coefficients relatifs à divers sels de la quantité de sucre pur que leur présence dans une solution de sucre et de sel empêche de cristalliser. L'un des faits les plus remarquables est que le chlorure de calcium, en faible quantité, semble favoriser la cristallisation du sucre, tandis que, en grande abondance, il est essentiellement mélassigène. Lagrange avait employé dans ces expériences 2 kilogrammes de sel pour 100 de masse cuite, c'est-à-dire sur des quantités industrielles. Il obtint les nombres suivants :

NOMS DES SELS	RENDMENT en sucre pour 100 de masse cuite	COEFFICIENT de chaque sel
Sirop normal.	54 0/0	1
Avec NaCl	54	0.00
— CaCl	53	0.50
— KCl	48	3.00
— NaOSO ³	50	2.00
— KOSO ³	47	3.50
— NaOCO ²	47	3.50
— KOCO ²	47	3.50
— KOAzO ⁵	43	5.50
— NaOAzO ⁵	41	6.50
— NaOPhO ⁵	44	5.00

Nous reviendrons sur ces études, à propos de la mélasse.

GLUCOSE OU DEXTROSE ⁽¹⁾ (C⁶H¹²O⁶). — Le glucose ne se rencontre pas dans la betterave saine. C'est un produit de l'altération du sucre. On le trouve dans la plupart des fruits sucrés acides avec le lévulose, dans le même rapport que dans le sucre interverti. C'est la matière sucrée du miel. On peut le former artificiellement par l'action de l'acide sulfurique étendu sur l'amidon, la cellulose, la matière des tissus organiques en général. Dans l'industrie, on le fabrique au moyen de la fécule et de l'acide sulfurique. Pur, il se présente sous la forme de cristaux assemblés en choux-fleurs ou mamelons, opaques et mal définis. Dissous dans l'alcool absolu bouillant, il se précipite à l'état d'aiguilles anhydres ayant la formule C⁶H¹²O⁶; en mamelons, il est hydraté (C⁶H¹²O⁶ + H²O); c'est à cet état qu'il a été étudié par les auteurs. Mais on connaît un second hydrate cristallisé 2 (C⁶H¹²O⁶) + H²O.

D = 1,55; soluble dans 1,33 d'eau froide, peu soluble dans l'alcool.
 1 partie de glucose se dissout
 à 17° centigrades dans 50 parties d'alcool de D = 0,837 ou à 89 0/0.
 à l'ébullition . . . 4,6 — — —
 à 17° centigrades . . . 9,7 — D = 0,880 ou à 74 0/0,
 à l'ébullition . . . 0,73 — — —

Le glucose a un pouvoir rotatoire sur la lumière polarisée dans le même sens que celui du sucre de canne.

$$[\alpha]_j = +60,18 \text{ pour } C^6H^{12}O^6 \text{ et } [\alpha]_d = +53,23$$

Il varie peu avec la température, et augmente sensiblement avec la concentration. (Les notations ci-dessus correspondent à 16g,19 dans 100).

Au moment où l'on vient de faire la dissolution du glucose dans l'eau, son pouvoir rotatoire est très élevé, presque double et égal à :

$$[\alpha]_j = +104^\circ \text{ ou } [\alpha]_d = 91,98.$$

Ce n'est qu'à la longue, au bout de quelques heures, qu'on peut observer son pouvoir rotatoire de $(\alpha)_j = 60,18$ qui, alors, devient constant dans les conditions ordinaires des expériences. Cette rétrogradation est due à une hydratation qui diminue le pouvoir rotatoire du glucose pouvoir qui serait réellement $(\alpha)_j = +104$. La solution du glucose, dans les liquides qui ne permettent pas cette hydratation, lui conserve son pouvoir rotatoire maximum. Ainsi, les solutions alcooliques du glucose ont des pouvoirs rotatoires d'autant plus élevés au-dessus

1. Le mot glucose dérive du grec (γλυκος, doux). Suivant les règles grammaticales on devrait écrire glycoso. De plus, les mots qui se terminent en *ose* sont généralement féminins. En sorte que les chimistes modernes disent : la glycoso et la lévulose. Nous avons conservé les anciennes dénominations parce qu'elles sont celles que l'on emploie en industrie, quoique les nouvelles soient plus rationnelles.

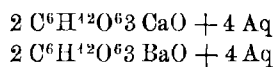
de $(\alpha)_j = 60,18$ que les liqueurs sont plus alcooliques, et nous avons constaté que la solution dans l'alcool absolu est douée du pouvoir rotatoire maximum $(\alpha)_j = +104$. Comme la définition même du pouvoir rotatoire d'un liquide rend ce pouvoir indépendant du dissolvant, l'expérience précédente, ainsi que la rétrogradation observée dans la dissolution aqueuse, prouve bien que c'est une hydratation qui cause cette différence dans les pouvoirs rotatoires, et que l'on doit considérer l' α réel du glucose comme égal à $(\alpha)_j = 104$.

Le glucose se ramollit à 60°, fond vers 70° ou 80°, et perd ensuite son eau de cristallisation. Maintenu dans un courant d'air sec à 60°, il devient infusible avant 100°. Enfin, les cristaux obtenus dans l'alcool absolu fondent à 196°.

A 170°, le glucose ordinaire commence à se décomposer en perdant son eau, et se convertissant en glucosane ($C^6H^{10}O^5$). Si l'on pousse la température, il se transforme en matières brunes analogues au caramel.

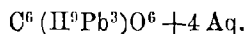
Le glucose est un corps éminemment oxydable. Ses solutions alcalines absorbent rapidement l'oxygène de l'air pour faire des produits bruns. Il réduit à l'ébullition les solutions de chlorure d'or, de nitrate d'argent, de bichlorure de mercure, d'acétate de cuivre, etc. Mais c'est surtout en présence des alcalis que l'action oxydante des oxydes métalliques devient éminente. C'est ce qui a donné lieu à la formation de la liqueur alcali-nocuprique pour doser le glucose, en remarquant que la solution alcaline d'oxyde de cuivre dans l'acide tartrique est la plus sensible.

Composés du glucose. — Le glucose forme avec les bases des sels analogues aux sucrales, mais ils ne se maintiennent qu'à une basse température. Ainsi, les glucosates de chaux et de baryte



s'obtiennent sous la forme de précipité blanc, en dissolvant la chaux et la baryte dans une solution de glucose, et précipitant par l'alcool. Avec la potasse, on obtient un précipité analogue.

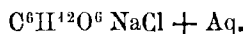
Pour faire le sel de plomb, comme le glucose ne précipite ni par l'acétate tribasique de plomb, ni par l'acétate de plomb ammoniacal, on opère en mélangeant l'acétate de plomb et le glucose en solution, et précipitant par l'ammoniaque. On obtient le précipité :



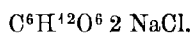
Les solutions de glucosate, abandonnées à elles-mêmes, se changent en glucates (acide glucique = $C^{12}H^{18}O^9$).

Le glucose s'unit à divers sels. Ainsi, en ajoutant un équivalent de

chlorure de sodium à une solution de 2 équivalents de glucose, et abandonnant le tout à l'évaporation spontanée, on obtient :



En gros prismes d'apparence rhomboédrique dérivant du système hexagonal, ils perdent leur eau à 100° et se décomposent à 160°. Lorsqu'il y a en présence une plus grande quantité de sel marin, on a des cristaux mélangés du sel précédent et de :



Enfin, le glucose forme avec les acides organiques des combinaisons neutres, en les chauffant ensemble vers 100 ou 120°, généralement fort longtemps. Il y a élimination d'eau.

Il forme aussi des combinaisons nitriques et sulfuriques.

GLUCOSE INACTIF. — Lorsqu'on traite la mannite avec ménagement par les agents oxydants on obtient un produit de la même composition que le glucose, mais dénué de pouvoir rotatoire.

On l'a nommé *glucose inactif*, mais il ne faut pas le confondre avec ce que nous appelons sucre neutre.

LÉVULOSE ($\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^6$). — Le lévulose que nous avons vu associé au glucose dans la formation du sucre inverti et dans les sucres des fruits (d'où vient le nom de Chilariose qu'on lui donne quelquefois), est un corps déliquescents, très soluble dans l'eau, dans l'alcool aqueux, légèrement dans l'alcool fort et l'alcool absolu : on lui assigne généralement comme pouvoir rotatoire, le nombre :

$$[\alpha]_D = -106 \quad \text{à} \quad 15^\circ$$

Le chaleur modifie considérablement cette rotation, car à 90°, elle est réduite à $(\alpha)_D = -53^\circ$.

Ces chiffres sont un peu forts comme nous le verrons plus loin.

La chaleur et les acides altèrent le lévulose un peu plus rapidement que le glucose, tandis que les alcalis et les ferments l'attaquent moins facilement. L'alcool ne modifie pas son pouvoir rotatoire sensiblement. Il réduit, exactement comme le glucose, la liqueur de Fehling.

Le lévulosate de chaux est insoluble dans l'eau froide, tandis que le glucosate y est soluble, c'est ce qui permet de séparer le glucose du lévulose dans le sucre inverti, comme nous le verrons plus loin.

Les propriétés du lévulose paraissent donc être complémentaires de celles du glucose. En effet, nous avons vu que :

Le pouvoir rotatoire du *glucose* peut être considéré comme voisin de +104
 — — — — — *lévulose* — — — — — de -104

L'hydratation du *glucose* se fait avec dégagement de chaleur.

— — — — — *lévulose* en absorbe.

Le *glucosate de chaux* est soluble dans l'eau froide.

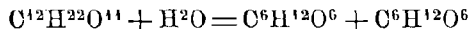
Le *lévulosate de chaux* est insoluble dans l'eau froide.

Les alcalis et la fermentation attaquent plus facilement le *glucose* que le *lévulose*.

Les acides et la chaleur attaquent plus facilement le *lévulose* que le *glucose*.

De plus la liqueur de Fehling est réduite de la même manière par les deux corps; l'amalgame de sodium les transforme également tous deux en mannite. Ces deux sucres ne diffèrent donc que par le groupement moléculaire de leurs éléments. Leur classement en *aldose* et *cétose* explique la différence que les alcalis et les acides possèdent vis-à-vis d'eux.

SUCRE INTERVERTI. -- Le sucre de canne, avons-nous dit, sous l'influence des acides étendus se transforme en *glucose* et *lévulose* égaux en poids, avec fixation d'un équivalent d'eau.



Si l'on adopte pour ces deux sucres les pouvoirs rotatoires indiqués par Biot, soit + 57,6 et - 106, leur ensemble donne une rotation

$$[\alpha]_j = - \frac{106 - 57,6}{2} = - 24,20$$

Nous reviendrons plus loin sur cette valeur.

La composition du sucre interverti a été donnée par Dubrunfaut. En traitant le sucre interverti par la chaux, ce chimiste remarqua que le tout se prenait en masse, mais que la presse, à une basse température, en séparait une partie liquide. Ce liquide traité par l'acide carbonique donnait du *glucose* et la partie solide sous l'influence de l'acide oxalique, abandonnait du *lévulose*, le poids des deux sucres obtenus étant égal, et moitié de celui du sucre employé, plus un équivalent d'eau. Pour réussir l'expérience, on peut prendre pour 10 grammes de sucre dissous dans 100 d'eau et intervertis, 6 grammes de chaux hydratée et agiter. Plus la température est basse mieux réussit l'expérience. Bientôt le tout se prend en masse que l'on porte sous la presse, car il faut agir rapidement sous peine de voir les résultats faussés. Pour retirer le *lévulosate* solide, on le triture d'abord avec de l'eau dans un mortier pour le laver, puis après répression, on le dissout dans une solution

d'acide oxalique. Le sel de chaux se précipite et le lévulose reste dans la liqueur.

Pour intervertir du sucre on le dissout dans 5 fois son poids d'eau, et l'on y ajoute quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique. On chauffe le tout au bain-marie vers 80°, pendant 10 minutes au moins, et l'on s'arrête avant que la liqueur jaunisse. Nous avons remarqué qu'il est nécessaire de faire l'expérience dans un ballon à long col, où l'air ne puisse pénétrer rapidement, et qui soit plein au moins aux trois quarts; en effet, si l'on a soin de ne pas trop agiter le ballon, de laisser la vapeur d'eau formée chasser l'excès d'air, et d'empêcher par un refroidissement lent l'accès rapide de l'air et sa pénétration dans la masse, on peut porter le liquide jusqu'à l'ébullition; il ne jaunira que par la rentrée de l'air atmosphérique.

Si l'on prend le pouvoir rotatoire de la liqueur et que l'on y dose la quantité de sucre interverti avec la liqueur cupropotassique qui donnera le poids du glucose et du lévulose (G+L), on remarque que l'on a l'équation

$$L\alpha_L - G\alpha_G = \alpha_{G+L}(G + L),$$

α_{G+L} est négatif et est donné par le saccharimètre; α_G et α_L , sont les indications du saccharimètre correspondant au pouvoir rotatoire du glucose et du lévulose, et sont connus; on a donc deux équations à deux inconnus, que l'on résoudra facilement. Or, on remarque que si l'opération est bien conduite, $G = L$; mais que l'on a souvent $G > L$ quand la liqueur jaunit, c'est-à-dire quand une portion du sucre interverti se détruit. C'est donc le lévulose qui se décompose le premier dans ce cas.

Le sucre interverti évaporé à siccité se présente sous la forme d'une masse vitreuse, incolore, hygrométrique, d'une saveur délicate et sucrée rappelant celle des fruits mûrs.

SUCRE NEUTRE. — Depuis longtemps on a signalé la présence, dans les sucres exotiques et les mélasses du commerce, d'un sucre réducteur n'exerçant pas d'action sensible sur la lumière polarisée, observation confirmée par A. Girard et Laborde, et par Muntz. La nature de ce sucre réducteur n'ayant pas encore été suffisamment définie, nous avons fait à ce sujet de nombreuses expériences qui nous ont appris que le sucre neutre n'est que du sucre interverti, dans lequel le pouvoir rotatoire du glucose est égal à celui que nous avons signalé précédemment dans la solution alcoolique absolue, soit égale et de signe contraire à celle du lévulose. En effet, le sucre interverti dissous dans des liqueurs alcooliques, possède des pouvoirs rotatoires de moins en moins élevés, jus-

qu'à ce que cette solution soit faite dans l'alcool absolu, et alors elle est neutre au saccharimètre. L'éther en précipite le sucre interverti à l'état de sucre neutre soluble dans l'eau, dans laquelle il reste neutre. Ce sucre neutre dissous de nouveau dans l'alcool, et, évaporé lentement et spontanément dans une atmosphère humide, se transforme de nouveau en sucre interverti. Enfin, la solution aqueuse de sucre neutre naturelle ou artificielle, placée dans un dialyseur, passe à travers la membrane, à l'état de sucre interverti.

Enfin nous montrerons plus loin que l'inversion du sucre se fait en passant d'abord par l'état neutre, pour arriver à la longue à la rotation gauche normale; d'où résulte que le sucre interverti n'est qu'une altération par hydratation du sucre neutre primordial, lequel serait une combinaison faible du glucose anhydre et du lévulose, que détruisent les actions hydratantes.

Nous avons fait sur les glucoses un travail fort circonstancié que nous donnons ci-après.

DU SUCRE INTERVERTI ET DU SUCRE NEUTRE. — I. Depuis longtemps, avons-nous dit, on avait signalé la présence, dans les sucres et les mélasses exotiques du commerce, d'un sucre réducteur n'exerçant pas d'action sensible sur la lumière polarisée.

Nous venons de voir que lorsque l'on intervertit du sucre dans une liqueur alcoolique et que l'on observe son pouvoir rotatoire au saccharimètre, ce pouvoir rotatoire est beaucoup plus faible que celui du sucre interverti dans l'eau pure; plus est alcoolique la liqueur, plus faible est le pouvoir rotatoire; enfin si dans l'alcool absolu on fait bouillir du sucre en présence de l'acide et de l'eau en quantité nécessaire pour transformer ce sucre en glucose, le sucre réducteur obtenu n'aura plus aucun pouvoir rotatoire.

C'est ainsi que nous avons constaté que le pouvoir du sucre interverti était approximativement dans ces conditions :

Dans l'eau.	$[\alpha]_D = -21,52$
— l'alcool à 50 0/0 . . .	$[\alpha]_D = -12,29$
— — absolu	$[\alpha]_D = 0$

La dissolution du sucre interverti dans l'alcool absolu du commerce présente quelques difficultés. Il faut, pour arriver à la neutralité, que le liquide reste limpide et clair, car sitôt qu'il jaunit, même très légèrement, on le voit doué d'un pouvoir rotatoire à droite. L'alcool absolu peut ainsi dissoudre au moins 1/8 de son poids de sucre transformé en sucre réducteur. Il faut que la quantité d'eau soit suffisante, sinon l'acide détruit le sucre et le liquide noircit; il faut aussi que l'eau ne soit pas

ajoutée en excès dans l'alcool absolu, sous peine de constater un pouvoir rotatoire à gauche.

Cette solution alcoolique neutre au polarimètre, évaporée rapidement dans le vide sec et redissoute dans l'eau, reste neutre; mais si on laisse l'évaporation se faire lentement dans l'air humide, on remarque au bout d'un certain temps une cristallisation abondante nageant dans un liquide visqueux. Ces cristaux sont du glucose, et la partie liquide contient un mélange de glucose et de lévulose où ce dernier domine. La masse redissoute dans l'eau se retrouve douée du pouvoir rotatoire gauche du sucre interverti :

$$[\alpha]_D = -21^{\circ},52$$

Ainsi, de ce sucre dénué de pouvoir rotatoire, nous passons facilement au sucre interverti ordinaire; mais il est facile aussi, du sucre interverti, de passer au sucre neutre. En effet, lorsque l'on dissout du sucre interverti dans l'alcool à 95% et qu'on précipite ensuite par l'éther, le précipité redissous dans l'eau est neutre au saccharimètre, quoiqu'il réduise la liqueur de Fehling de la même manière que le sucre interverti dont il provient. Ici nous ferons la même remarque que plus haut : la moindre coloration du sucre interverti communique au sucre neutre un léger pouvoir rotatoire.

Le sucre interverti et le sucre neutre se présentent donc à nous comme identiques dans leurs propriétés chimiques générales, mais doués de propriétés physiques tout autres.

A quelle différence dans la composition chimique correspond donc cette différence dans leur action sur la lumière polarisée ?

Dubrunfaut nous a montré le sucre interverti comme composé de glucose et de lévulose à poids égaux, et son pouvoir rotatoire comme la différence des pouvoirs des deux sucres. Que deviennent donc les sucres, lorsqu'on fait l'inversion dans l'eau ou dans l'alcool ?

Considérons d'abord le glucose. Chacun sait que lorsque l'on dissout du glucose dans l'eau, et que l'on en observe immédiatement le pouvoir rotatoire, la rotation qu'indique le saccharimètre est très élevée, mais que ce pouvoir éprouve une diminution rétrograde continue, assez rapide, terminée au bout de quelques heures généralement, et correspondant au nombre $[\alpha] = 53,23$, la rotation maxima étant égale à $93,75$ (').

Dissout-on le glucose dans un liquide alcoolique, les choses ne se passent pas de même.

1. Tous les calculs de ces expériences ont été faits avec les données reçues à cette époque. Ces nombres ne sont plus d'une exactitude absolue, mais ils sont proportionnels, ce qui n'influe pas la théorie.

Dans l'alcool faible, son pouvoir rotatoire est plus élevé que dans l'eau ; dans l'alcool plus fort, il augmente encore, enfin dans l'alcool absolu son pouvoir rotatoire est presque doublé, et égal justement au nombre 93,75 qu'il possède au moment de sa dissolution dans l'eau.

C'est ce qu'indiquent les nombres du tableau suivant.

Dissolution du glucose dans l'eau	[α] _D = 53,23
— — — l'alcool à 25 0/0	62,72
— — — — 50 0/0	71,91
— — — — 75 0/0	81,56
— — — — 95 0/0	93,68
— — — — 100 0/0 ou absolu.	93,75

Enfin, pour compléter ces expériences, nous remarquerons que lorsque l'on dissout du glucose dans l'alcool fort et qu'après observation du pouvoir rotatoire on ajoute de l'eau, le pouvoir rotatoire diminue à la longue et d'autant plus qu'on ajoute plus d'eau.

Donc le glucose est un sucre dont le pouvoir rotatoire varie avec la nature du dissolvant et même n'est pas constant dans l'eau, propriété remarquable qui ne correspond pas aux idées que l'on se fait ordinairement de la polarisation et que ne partage pas, d'ailleurs, le lévulose, dont le pouvoir reste constant dans l'alcool comme dans l'eau pure.

Quel est donc le pouvoir rotatoire du lévulose, congénère du glucose dans le sucre interverti ? Il est sensiblement le même que celui du glucose dissous dans l'alcool absolu, mais de signe contraire. Dès lors la solution du glucose et du lévulose dans l'alcool absolu à poids égaux devra être dénuée de tout pouvoir rotatoire. C'est ce que constatent les expériences précédentes.

Après cela, il nous reste bien peu de chose à dire pour arriver à une conclusion.

Si l'on observe avec attention tous les faits signalés sur le pouvoir rotatoire du glucose et surtout sur cette action rétrograde qu'il éprouve dans l'eau, ne semble-t-il pas que son véritable pouvoir rotatoire spécifique serait celui qui est maximum [α]_D = 93,75 ; que le glucose s'hydrate à la longue, que cette hydratation successive provoque la diminution dans le pouvoir rotatoire ; que si l'on dissout le glucose dans un milieu où il ne peut s'hydrater ou bien où l'hydratation ne peut être complète, le pouvoir rotatoire reste maximum ou bien la rétrogradation s'arrête en chemin, ce qui arrive spécialement dans les solutions alcooliques.

D'après cela, le *sucre neutre* sera un sucre réducteur interverti dans des conditions telles que le glucose y possède son pouvoir rotatoire maximum, et il est probable qu'il existe alors une sorte de combinaison

entre le glucose et le lévulose, puisque l'eau dissolvante ne peut hydrater le glucose et détruire sa neutralité. Nous verrons plus loin que certaines actions physiques, comme la dialyse, peuvent détruire cette neutralité aussi bien dans les sucres neutres naturels qu'artificiels.

Donc, toutes les fois que l'on intervertit du sucre de telle sorte que le glucose ne puisse s'hydrater, on formera du sucre neutre; toutes les fois que l'hydratation du glucose sera incomplète le pouvoir rotatoire du sucre réducteur sera faible et variable entre les limites 0 et $-21,52$, et le maximum de rotation gauche sera obtenu par l'inversion du sucre dans de grandes masses d'eau.

II. Lorsque l'on intervertit du sucre dans l'eau, même en grande abondance, il est rare d'y constater le pouvoir rotatoire qui a été assigné par les auteurs au sucre interverti normal: on trouve en général pour le pouvoir rotatoire gauche un nombre plus faible, assez variable, quoique la solution contienne exactement, dans tous les cas, la même quantité de sucre réduisant la liqueur de Fehling. Ainsi 46, 49 de sucre interverti dissous dans l'eau formant un volume de 100 cent. cubes devraient marquer au saccharimètre $-31,96$. On remarque, au lieu de cela, que l'indication saccharimétrique est de $-29,5$ à $-29,9$ quand on vient de faire l'inversion. Ceci provient évidemment de ce que l'hydratation du glucose n'est pas à ce moment parfaite et qu'il marquerait au saccharimètre dans ces conditions 84,98 (nombre qui revient souvent dans les expériences), au lieu de 79,33.

Cependant pour affirmer ce fait, nous avons recherché dans quelles conditions s'effectuait l'inversion du sucre, et examiné le pouvoir rotatoire du sucre interverti à chaque phase d'une inversion incomplète.

L'inversion par les acides est trop rapide pour permettre de suivre le phénomène. On y arrive au contraire facilement par voie d'ébullition de la solution sucrée pure. En effet, on constate ainsi que la rotation primitivement droite diminue lentement et passe à gauche; puis il arrive un moment où cette rotation gauche ne se modifie plus et où la solution jaunit par la destruction de l'élément lévulose qui est beaucoup plus sensible que le glucose à l'action de la chaleur. En dosant successivement dans les différentes phases de cette opération la quantité de sucre interverti formée, on constate qu'il possède des pouvoirs rotatoires absolus croissants, faibles au début pour arriver à un pouvoir maximum voisin de celui du sucre interverti ordinaire. Voici les éléments d'une de ces expériences.

ÉBULLITION D'UNE SOLUTION SUCRÉE.

Après	1 heure d'ébullition, sucre interverti formé	$[\alpha]_D = -$	3
	2	—	$[\alpha]_D = -$ 7, 85
	8	—	$[\alpha]_D = -$ 15, 57
	18	—	$[\alpha]_D = -$ 19, 54
	38	—	$[\alpha]_D = -$ 20, 44
	43	—	$[\alpha]_D = -$ 20, 57
	La limite vers laquelle on tendait était	$[\alpha]_D = -$	21, 52

Quoiqu'on ne puisse arriver à cette limite, on n'en suit pas moins l'augmentation progressive du pouvoir rotatoire absolu du sucre interverti d'abord très faible et partant évidemment de 0, c'est-à-dire du sucre neutre. Ainsi dans l'inversion du sucre, le glucose qui se forme est d'abord anhydre, doué de son pouvoir rotatoire maximum, et il ne s'hydrate qu'à la longue, en sorte que le sucre interverti dont il est l'un des éléments, d'abord neutre, acquiert lentement son pouvoir rotatoire normal. Si dans les inversions on arrive à constater une action sur la lumière polarisée plus faible que $[\alpha]_D = -21,52$, c'est sans doute par une résistance moléculaire du glucose à la combinaison avec l'eau, résistance qui n'a rien de surprenant, si nous considérons que le sucre neutre se dissout dans l'eau sans altérer sa neutralité.

Cette observation semble nous expliquer aussi pourquoi le sucre réducteur est neutre dans les sucres exotiques, l'inversion se faisant suivant les mêmes lois, lentement, progressivement, sur toute la masse de sucre, et en présence d'une trop faible quantité d'eau pour provoquer par l'action des masses l'hydratation forcée du glucose.

III. Dans tout ce qui précède, nous avons considéré plus spécialement le sucre neutre formé de toutes pièces par l'inversion du sucre, et cela à cause de la quasi-impossibilité dans laquelle on se trouve d'isoler le sucre neutre du sucre cristallisable dans les sucres bruts. Pour nous assurer de l'identité de ce sucre neutre naturel avec le sucre neutre artificiel, il ne s'est présenté que la dialyse. En effet, en plaçant dans un dialyseur du sucre neutre, quelle que soit sa provenance, il traverse la membrane en prenant un pouvoir rotatoire gauche à peu près égal à celui du sucre interverti. Cette expérience réussit toujours; elle est concluante d'ailleurs, et identifie les sucres réducteurs des sucres bruts avec celui obtenu par l'inversion du sucre dans l'alcool.

L'action de la dialyse est ici une action hydratante; comme ce n'est pas ainsi que l'on a l'habitude de considérer l'effet des membranes sur les solutions, nous dirons quelques mots sur l'explication probable de ce phénomène qui se rattache au phénomène général de la diffusion, dont il dérive ainsi que l'osmose.

Lenssen regarde le phénomène de diffusion comme produit par l'affinité des diverses substances diffusibles pour l'eau, affinités étudiées à cet effet par Lowenthal. Or l'action des membranes qui exaltent, pour ainsi dire, les phénomènes de diffusion en les condensant dans un laps de temps très court, donne à cette affinité des cristalloïdes pour l'eau une puissance toute particulière, tellement que Graham, cherchant la cause de la dialyse, s'exprime ainsi : « Les cristalloïdes s'emparent d'une partie de l'eau du septum, colloïde hydraté, et se créent de cette manière un milieu où ils peuvent diffuser. » Et il appelle à proprement parler *dialyse*, cette action du septum colloïde. Graham considérait donc comme évident ce que Lenseen et Lowenthal ont démontré, c'est-à-dire que c'est l'affinité des cristalloïdes pour l'eau qui produit la dialyse.

Or, le glucose et le lévulose sont unis ensemble dans le sucre neutre en une combinaison assez faible, ils sont côte-à-côte dans le sucre interverti qui peut être considéré comme une modification du sucre neutre primordial.

Lorsque l'on place dans un dialyseur du sucre neutre dissous, l'action diffusible puissante et rapide de la dialyse s'étend sur chacun de ses éléments en particulier, détruisant la combinaison faible qui constituait le sucre neutre, pour ne plus faire de part et d'autre de la membrane que du sucre interverti, ce que l'on constate facilement par la simple inspection du pouvoir rotatoire. L'action dialytique ou diffusible est donc bien ici déterminée par l'affinité des éléments diffusibles pour l'eau, comme le disait Lenssen ; la dialyse a donc bien une action d'hydratation profonde sur les corps qui passent à travers le septum, action capable de détruire les combinaisons faibles de corps avides d'eau, comme est le sucre neutre.

D'ailleurs le fait n'est pas uniquement attribuable à la forme de l'opération connue sous le nom de dialyse. Les corps poreux les plus divers produisent des phénomènes analogues. Ainsi nous avons dit que lorsque l'on intervertit du sucre même dans une grande masse d'eau, on n'obtient pas toujours le pouvoir rotatoire maximum. Or, il est un moyen d'activer ce passage ; en effet, lorsque dans le sucre interverti nouvellement, on introduit des matières poreuses, fragments de brique ou de pierre ponce, on arrive très rapidement au maximum de rotation gauche.

Nous allons suivre maintenant l'action de la dialyse sur le sucre neutre dans quelques expériences. L'appareil employé consistait en un cristalliseur contenant la solution du sucre interverti, dans lequel plongeait un tambour de verre fermé par une membrane de papier parche-

min. Dans ce tambour ou dialyseur on met l'eau. Si l'on pèse avant et après l'opération les deux vases, qu'on prenne le volume des liquides, leur pouvoir rotatoire, leur contenance en sucre réducteur, on remarque qu'une partie de l'eau du dialyseur est passée dans le cristalliseur, tandis que celui-ci a cédé une certaine quantité de sucre réducteur au liquide du dialyseur. Lorsque l'opération est tout à fait terminée, au bout d'une dizaine de jours et même plus, la densité des liquides dans les deux vases est devenue la même, ainsi que les degrés indiqués par le saccharimètre. La densité est la même que celle qui résulterait du mélange préalable des liquides des deux vases ; au contraire, le pouvoir rotatoire est sensiblement plus élevé à gauche que celui qui résulterait du même mélange.

Le calcul des quantités de sucre réducteur contenu dans les deux vases, puis celui du glucose et du lévulose qui contiendraient ces quantités de sucre, nous ont, au bout de nombreuses expériences, amené à constater que le sucre interverti passe avec sa composition première à travers le septum du dialyseur, poids égaux de glucose et de lévulose, mais que le glucose possède un pouvoir rotatoire moindre que dans le sucre interverti primitif, c'est-à-dire que l'action dialytique de la membrane provoque l'hydratation du glucose comme nous l'avons vu précédemment pour les matières poreuses. Alors si l'on calcule le pouvoir rotatoire du glucose résultant de cette action, on remarque qu'il est plus faible dans le dialyseur que dans le cristalliseur, dans lequel même il est moindre que dans le sucre interverti primitif, c'est-à-dire que l'hydratation est plus profonde dans le dialyseur que dans le cristalliseur.

Cette manière d'expliquer le phénomène est rendue plus évidente encore par la dialyse de la solution des sucres bruts exotiques. On sait que les sucres de canne contiennent, outre le sucre cristallisable, une certaine quantité variable de sucre réducteur qui est presque toujours neutre à la lumière polarisée. Qu'est ce sucre neutre naturel ? la dialyse va nous l'apprendre. En effet, en opérant la dialyse sur un pareil sucre, on remarque que le sucre cristallisable et le sucre réducteur passent ensemble dans le dialyseur en quantités proportionnelles à celles préexistantes dans le sucre primitif ; mais ce sucre réducteur est devenu actif sur la lumière polarisée ; il s'est transformé en sucre interverti ordinaire dont souvent il possédait presque le pouvoir rotatoire normal ; en tout cas il était toujours plus gauche dans le dialyseur que dans le cristalliseur. Ainsi le sucre neutre des sucres exotiques est du sucre interverti dans lequel le glucose est anhydre, et l'action dialytique hydratant le glucose transforme ce sucre neutre en sucre interverti ordinaire. Telle est donc l'action générale de la dialyse, sur la so-

lution de sucre interverti, d'hydrater le glucose qu'il contient, d'en diminuer le pouvoir rotatoire droit, et dès lors d'augmenter le pouvoir gauche de ce sucre interverti.

Il découle de tout ceci un fait d'une certaine importance ; c'est que le sucre interverti possède une foule de pouvoirs rotatoires suivant l'état d'hydratation du glucose qu'il renferme, et qu'en dialysant du sucre interverti à son maximum de pouvoir rotatoire admis, on obtient de nouveaux sucres intervertis doués d'un pouvoir rotatoire plus fort encore, c'est-à-dire correspondant à un glucose plus hydraté et doué d'un pouvoir moindre que celui que l'on admet généralement.

Voici quelques-uns des nombres obtenus dans différentes expériences.

En dialysant un sucre interverti dont le glucose avait un pouvoir rotatoire de 84,98 une expérience a fourni :

Dans le cristalliseur pour le glucose	[α] = 80,81
— dialyseur	[α] = 80,47

En dialysant un sucre interverti dont le glucose avait un pouvoir absolu de 79,27, c'est-à-dire presque normal, nous avons eu :

Dans le cristalliseur pour le glucose	[α] = 78,85
— dialyseur	[α] = 75,59

On voit donc ici s'abaisser le pouvoir rotatoire du glucose au-dessous du degré ordinaire, ce qui laisse à penser que le glucose peut s'hydrater bien plus dans certaines conditions que dans celles où il se trouve ordinairement.

Ces exemples suffisent pour faire comprendre les faits précédents qui s'y rapportent.

Si nous prenons maintenant l'exemple d'un sucre exotique contenant du *sucré neutre*, nous remarquons pour le glucose les différentes valeurs suivantes :

Glucose du sucre primitif.	. . .	[α] = 143,2
— dans le cristalliseur	. . .	[α] = 126,4
— — dialyseur	. . .	[α] = 91,14

La gradation est ici bien évidente, et prouve la modification profonde que le sucre neutre éprouve sous l'action dialytique.

Dans un autre sucre où le sucre réducteur n'était pas tout à fait neutre.

Sucre primitif.	. . .	[α] = 115,3
Cristalliseur	. . .	[α] = 95,67
Dialyseur	. . .	[α] = 81,75

Ces différents exemples montrent l'hydratation successive du glucose dans le sucre interverti, et le passage du sucre neutre au sucre interverti ordinaire. Corroborés par les expériences citées précédemment sur les différents pouvoirs rotatoires du glucose dans l'acool à différents degrés, par la formation du sucre neutre par l'inversion du sucre dans l'alcool absolu, et par la transformation de ce sucre neutre en sucre interverti ordinaire par son évaporation spontanée à l'air libre, il nous semble ne plus rester de doute sur la véritable nature du sucre interverti et du sucre neutre.

POUVOIR ROTATOIRE DES DIFFÉRENTS SUCRES. — IV. Dans toutes ces expériences, nous avons fait usage du saccharimètre Laurent, avec la lumière jaune dite du gaz salé. Mais la majorité des auteurs indiquent le pouvoir rotatoire des différents sucres par celui correspondant à la teinte sensible. Il a donc fallu que nous passions de l'indication de $[\alpha]_j$ à celle de $[\alpha]_D$ pour tous ces sucres. Nous y sommes arrivés de la manière suivante.

La déviation du plan de polarisation des rayons correspondant à la raie D et à la teinte sensible j pour une plaque de quartz de un millimètre d'épaisseur sont :

Raie D.	21°,67
Teinte sensible	24°,50

En mettant ces nombres à la place de α dans la formule :

$$\rho = \alpha \frac{V}{lp}$$

on trouve les nombres suivants que nous allons discuter.

Sucre de canne. — Biot avait adopté comme pouvoir rotatoire du sucre de canne, ramené à la teinte sensible $[\alpha]_j = 73,8$, et il en avait conclu qu'il fallait un poids de 16^{gr},59, puis plus tard 16,47 de sucre pour obtenir la même déviation qu'une plaque de quartz de 1 millimètre d'épaisseur dont le pouvoir rotatoire avait été déterminé par Broch et trouvé égal à $[\alpha]_j = 24°,50$ et $[\alpha]_D = 21°,67$. Depuis, le sucre ayant été obtenu beaucoup plus pur, on avait admis 16,35 comme poids de sucre à dissoudre sous un volume de 100 centimètres cubes pour obtenir la même déviation.

Ce chiffre était encore trop fort. En effet de nombreux expérimentateurs ont déterminé à nouveau le pouvoir rotatoire du sucre. Voici les chiffres qu'ils ont obtenu pour une dissolution voisine de 20 grammes de sucre dont 100 cent. cubes à 20° de température environ.

	Landolt $[\alpha]_D =$	66°, 479
	Semitz	66°, 496
Nasini et Villavecchia		66°, 507
	Tollens	66°, 545

On voit que tous se rapprochent du chiffre moyen 66,5. Si donc l'on prend la formule de Biot qui donne le poids de matière à peser pour obtenir l'angle de 21°,67 de Broch

$$p = \alpha \frac{V}{lp} \quad \text{d'où} \quad p = \alpha \frac{V}{lp}$$

en faisant $V = 100$ centimètres cubes et l la longueur du tube, 2 décimètres on aura

$$p = 21,67 \frac{100}{66,5 \times 2} = 16,293$$

Ce poids de 16^{gr},293 a fait l'objet d'une longue discussion du *Congrès international de chimie appliquée*, réuni à Paris en 1896. A la suite de ce congrès, l'administration nomma une commission pour réviser définitivement le poids normal. Cette commission formée de MM. A. Girard, De Luyne, Mascart et Cornu, adopta définitivement en 1899 le chiffre de 16,29 pour la pesée du sucre avec les saccharimètres basés sur la rotation d'une lame de quartz de 1 millimètre d'épaisseur.

En adoptant ce chiffre, on a pour la teinte sensible

$$[\alpha]_l = 24,5 \frac{100}{16,29 \times 2} = 75,18$$

nombre bien éloigné du chiffre de Biot.

Glucose.—Il faut chercher le poids de glucose donnant la même rotation que la lame de quartz de 1 millimètre. Or, il y a une très grande diversité dans les nombres fournis par les auteurs. Tels sont :

Bondonneau	$[\alpha]_l =$	52
A. Girard	$[\alpha]_D =$	52,133
Clerget	$[\alpha]_l =$	52,47
Dubrunfaut	$[\alpha]_D =$	53,20
Horsin-Déon	$[\alpha]_D =$	53,23 (concentration à 16,19 0/0)
Tollens	$[\alpha]_D =$	53,10 à 53,36

Selon Tollens, la concentration des liqueurs est la cause de ces divergences, ce qui concorde parfaitement avec ce que nous disions précédemment.

Si l'on prend le nombre 52,133, on trouve :

Cependant le chiffre de Ost, 93,18 se rapproche beaucoup plus des 93,76 adoptés primitivement.

Il y a donc encore incertitude. D'après les auteurs elle tient à l'état de la liqueur et à son acidité lors de la préparation du lévulose, et aussi à la facilité de ce corps d'absorber l'humidité de l'air, ce qui rend difficile de l'obtenir anhydre. Quelques-unes de nos expériences nous ont fait présumer un pouvoir rotatoire rapproché de celui de Ost, comme par exemple la formation du sucre interverti, d'autres pour le sucre neutre, nous donnent des chiffres plus faibles, comme ceux de Hönig et Iesser.

Nous devons donc recommencer nos expériences qui datent de 1878 à 1880, en tenant compte des observations des expérimentateurs plus modernes, afin de déterminer exactement les conditions de rotation des différents sucres.

Sucre interverti. — En prenant le nombre $[\alpha]_j = -24,2$ proposé par quelques auteurs, on trouve $p = 50,44$

$$[\alpha]_D = -21,49$$

nos expériences personnelles nous ont donné 21,52.

Remarques. — Selon Dubrunfaut, le sucre interverti a comme pouvoir rotatoire la moyenne entre le pouvoir rotatoire du glucose et celui du lévulose. Si l'on prend le nombre de Biot pour pouvoir rotatoire du glucose, on arrive à $-24,2$, nombre presque concordant avec le pouvoir rotatoire que nous avons trouvé pour le sucre interverti. Donc dans le sucre interverti arrivé à son pouvoir rotatoire stable, le glucose semble avoir le pouvoir rotatoire indiqué par Biot, tandis que dans l'état transitoire que nous avons indiqué plus haut, le glucose y possède un pouvoir rotatoire approchant de celui que nous avons indiqué pour la concentration de 16%,19 dans 100. Donc toutes les fois que l'on voudra constater la loi de Dubrunfaut, il faudra s'assurer des conditions d'équilibre des composants dans le dissolvant, ce que l'on ne fait généralement pas.

Enfin nous avons dit que le pouvoir rotatoire maximum du glucose était sensiblement égal et de signe contraire à celui du lévulose. Les nombres anciens donnent pour $[\alpha]_j$ 104 et 106. Il y a ici une petite différence qui demande de nouvelles études du pouvoir rotatoire du glucose et du lévulose, comme nous le disions tout à l'heure.

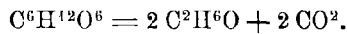
On a découvert récemment deux corps qui seraient les anhydrides du glucose et du lévulose et qu'on a appelés la *dextrane* et la *lévulane*, dont les pouvoirs rotatoires sont de $[\alpha]_D = + 223$ et $[\alpha]_D = - 221$, qui sont complémentaires l'un de l'autre comme sont complémentaires le glucose et le lévulose. Mais ici, comme on le voit, c'est la dextrane dérivant du

glucose, dont le pouvoir rotatoire l'emporte sur celui de la lévulane. Ne serait-ce pas une preuve que le chiffre + 104 est trop bas ?

FERMENTATION DES SUCRES. — Le sucre de canne ne fermente pas directement ; il faut auparavant qu'il soit transformé en sucre interverti. Cette transformation s'opère, dans l'industrie des alcools, au moyen de l'ébullition avec les acides, sinon c'est le ferment lui-même qui active cette transformation du sucre au sein de l'eau qui le dissout. La fermentation du sucre est donc exactement la même que celle du glucose. Le glucose, au contraire, entre rapidement en fermentation, mais, suivant les circonstances qui l'accompagnent, cette fermentation est alcoolique, ou lactique, ou butyrique, ou visqueuse. Nous allons passer rapidement en revue ces divers phénomènes.

Qu'est-ce qu'une fermentation proprement dite ? C'est le développement plus ou moins rapide au sein d'un liquide sucré d'un être végétal, parfois animal, dit *mycoderme*, sorte de cellules ou de tubes microscopiques qui se multiplient et vivent en s'alimentant aux dépens de la matière sucrée. Ce développement physiologique est accompagné de réactions chimiques particulières qui constituent les phénomènes de fermentation.

Fermentation alcoolique. — Le ferment alcoolique (*mycoderma cerevisiæ*) qui constitue entièrement la levure de bière, est un amas de cellules ovoïdes de $\frac{1}{100}$ de millimètre de diamètre, qui se multiplient par bourgeonnement. La fermentation transforme le sucre en alcool, selon la réaction :



Mais la réaction n'est pas si simple ; il se développe encore de la glycérine et de l'acide succinique, dans les proportions suivantes :

Acide carbonique.	46,67
Alcool	48,46
Glycérine	3,23
Acide succinique	0,61
Matières cédées au ferment	1,03
Glucose	<u>100,00</u>

Donc, 100 kilogrammes de glucose donneront environ 59 litres d'alcool. Le ferment, pour se multiplier, a besoin de matières minérales et surtout de phosphates, ainsi que de matières albuminoïdes. Si donc dans le jus sucre se trouvent ces substances en solution, comme dans la bière, la levure se multiplie et prend un grand volume, et la fermentation est

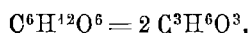
complète ; sinon le ferment se meurt au bout de quelque temps d'activité. On peut donc activer la fermentation dans les jus sucrés par l'addition de phosphates, de sels ammoniacaux, ou mieux, de cendres de levure.

La température la plus favorable à la fermentation, varie de 25° à 30°.

La fermentation normale ne donne naissance ni à l'azote, ni à l'acide lactique, ni à l'acide butyrique. Elle est arrêtée par toutes les substances capables de suspendre ou d'anéantir la vie végétale, telles que certains sels métalliques, produits empyreumatiques, phénols, etc.

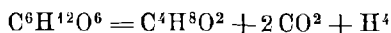
Enfin, si dans certains cas, on rencontre la *fermentation acétique*, ce n'est qu'à la suite de la fermentation alcoolique, une oxydation ultérieure de l'alcool.

Fermentation lactique. — Le glucose, dans une solution alcaline, en présence de certaines matières caséuses, du lait, du fromage, entre en fermentation. Le produit principal est l'acide lactique par dédoublement du glucose.



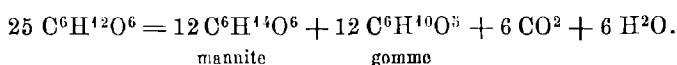
Le ferment lactique est beaucoup plus petit que celui de la bière.

Fermentation butyrique. — Lorsque la fermentation lactique se prolonge, une autre prend généralement naissance, côte-à-côte, facile à reconnaître par une odeur infecte, c'est la fermentation butyrique.



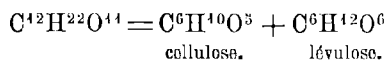
Le ferment butyrique est un infusoire formé de baguettes cylindriques longues de 0,02 à 0,002 millimètres.

Fermentation visqueuse ou muqueuse. — Si la liqueur devient acide pendant la fermentation lactique, ou bien lorsque le glucose se trouve en présence de matières albuminoïdes abondantes, une nouvelle fermentation s'annonce, caractérisée par la production de la mannite et d'une gomme particulière, dextrogyre, sans action sur la liqueur de Fehling, très soluble dans l'eau, précipitable par l'alcool. On la distingue de la gomme ordinaire par ce fait que, traitée par l'acide azotique, elle ne produit pas d'acide mucique. Nous avons pu l'étudier dans un échantillon de sucre de palmier de Calcutta, en pleine fermentation visqueuse. Son pouvoir rotatoire était $(\alpha)_d = +193,3$. La réaction est accompagnée d'un dégagement de gaz carbonique et se ferait suivant la formule :



Selon Pasteur, le ferment muqueux serait végétal et composé de globules réunis en chapelets, et dont le diamètre varie de 0,0012 à 0,0014 millimètres. La fermentation muqueuse est celle qui se déclare le plus souvent dans les jus bruts de betterave, avec une activité très grande; ces jus fermentés ont, en même temps, l'odeur de l'acide lactique, et au bout d'un certain temps, de l'acide butyrique.

Fermentation cellulosique. — Il ne faut pas confondre la fermentation visqueuse avec la fermentation cellulosique qui lui ressemble comme apparence et non comme effet. Cette dernière ne s'attaque qu'au sucre de canne et a été observée et étudiée par E. Durin. Le sucre de canne, sous l'influence d'un ferment particulier, se transforme dans ces conditions en cellulose et lévulose, sans dégagement d'aucun gaz, suivant la réaction :



La liqueur sucrée se charge alors de grumeaux gluants, blancs, qui sont de la cellulose et qui la font prendre en masse. Le carbonate de chaux favorise cette fermentation ; les carbonates de baryte, de magnésie, le chlorure de calcium l'entravent, les sels ammoniacaux, les azotates la gênent, en favorisant la formation de moisissures.

La formation des grumeaux est plus rapide à la lumière que dans l'obscurité, et le ferment a une nature diastasique.

C'est ce qu'on appelle en sucrerie le *frai de grenouille*, qui ne répand aucune odeur quand il se produit dans les jus, tandis que la fermentation muqueuse, qui donne également des grumeaux visqueux, sent toujours l'acide lactique ou butyrique.

RAFFINOSE ($\text{C}^{48}\text{H}^{32}\text{O}^{16} + 3\text{H}^2\text{O}$). — Loiseau a découvert en 1876, dans les mélasses de raffinerie un corps fortement dextrogyre, cristallisable, auquel il a donné le nom de *raffinose*.

Il a déterminé sa formule (adoptée par Berthelot) $\text{C}^{36}\text{H}^{32}\text{O}^{32} + 3\text{H}^2\text{O}^2$, pouvoir rotatoire $[\alpha]_D = +104^\circ$; beaucoup plus soluble dans l'eau que le sucre moins soluble dans l'alcool que lui, mais soluble dans l'alcool méthylique absolu du commerce, dans lequel entre en dissolution 95 gr. au litre de raffinose (desséchée) tandis que le saccharose ne s'y dissout qu'à la dose de 4 grammes, ce qui permet une certaine séparation de ces deux sucres.

L'action des acides sur la raffinose la décompose en trois sucres de formule $\text{C}^6\text{H}^{12}\text{O}^6$ qui sont les : glucose, lévulose et galactose.

La levure de bière agit différemment sur la raffinose suivant sa nature. Ainsi la levure provenant d'une *fermentation basse* fait fermenter com-

plètement la raffinose, tandis que la levure de *fermentation haute* ne provoque la fermentation que du tiers de la raffinose, les deux autres tiers constituant un résidu réduisant la liqueur de Fehling et qui n'est capable de fermentation qu'après une action prolongée d'un acide qui le transforme en glucose.

Tollens a prétendu que la *raffinose* et la *mélitose* ne formaient qu'un seul et même corps ayant la formule $C^{12}H^{22}O^{11}, 3H^2O^1$. Les deux formules ne différant que par la contenance en eau (13,13 % dans la formule de Loiseau, 13,64 % dans la formule de Tollens) et cette différence pouvant disparaître par la dessiccation dans le vide.

Mais la raffinose desséchée fond à 118 ou 119°, puis ensuite elle reprend son eau hygroscopique, rapidement et toujours la même. Enfin le méli-tose est ce que l'on nomme aujourd'hui un *biose*, c'est-à-dire se sépare en deux sucres du 1^{er} groupe ou *monoses* par l'action des acides, tandis que la raffinose est une *triose* se décomposant en trois monoses comme nous venons de le dire.

La raffinose semble préexister dans la betterave. Elle est en très petite quantité. Mais comme elle est très soluble elle se concentre dans la mélasse.

Elle forme des sels insolubles avec la baryte, mais non avec la strontiane et la chaux. En sorte que les procédés d'extraction du sucre de mélasse par la baryte donne un sucre contenant de la raffinose. Les deux sucres cristallisent ensemble et le cristal formé diffère sensiblement de celui du sucre pur.

Pour analyser un mélange de raffinose à d'autres sucres on peut se servir du pouvoir rotatoire élevé de cette substance si l'on n'a que deux éléments dans le mélange. On peut aussi se baser sur sa dissolution dans l'alcool méthylique saturé de sucre, en prenant le pouvoir rotatoire de la dissolution avant et après (Scheibler). Ou bien enfin on peut attaquer les sucres par l'acide nitrique; la raffinose se transforme seule en acide mucique, et l'on dose cet acide.

SACCHARINE ($C^6H^{10}O^5$). — Découverte par E. Péligot en 1880. Elle se forme par l'action de la chaux sur les glucoses à l'ébullition. Le liquide filtré est du saccharinate de chaux qui, traité par l'acide oxalique, abandonne par évaporation et refroidissement de très beaux cristaux dérivant du prisme rhomboïdal droit. Ces cristaux constituent la *saccharine*.

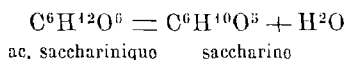
Scheibler en a fixé la formule qui est $C^6H^{10}O^5$.

La saccharine fond à 160 ou 161°, est volatile, mais son point de sublimation est très voisin de son point de décomposition.

La saccharine n'est pas un sucre. Scheibler la considère comme

l'anhydride de l'acide saccharinique $C^6H^{10}O^6$ qui forme avec les bases des sels complets indécomposables par l'acide carbonique. La saccharine, bouillie en présence du carbonate de chaux récemment précipité, chasse l'acide carbonique et forme le saccharinate de chaux.

L'action de l'acide oxalique sur le saccharinate de chaux, tout en déplaçant la chaux, provoquerait le dédoublement de l'acide saccharinique en saccharine et eau



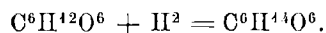
La propriété la plus intéressante de la saccharine au point de vue de la sucrerie est son pouvoir rotatoire élevé

$$[\alpha]_d = + 93,5$$

comme la saccharine se forme de l'action de la chaux sur les glucoses, sa présence dans les produits de sucrerie doit être assez fréquente.

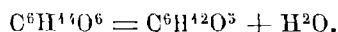
Les saccharinates alcalins, au contraire, tournent à gauche. Le sel de chaux a $[\alpha]_d = -5,7$ et le sel de soude $[\alpha]_d = -17,2$.

MANNITE ($C^6H^{14}O^6$).— Nous n'en parlerons que parce qu'on la rencontre dans certains produits altérés, certains sucres bruts en fermentation visqueuse. Elle est formée par fixation de l'hydrogène sur le lévulose ou le glucose.



C'est un corps cristallisable en prismes rhomboïdaux droits, très fins, d'éclat soyeux. Faiblement sucrée, dénué de pouvoir rotatoire et d'action sur la liqueur de Fehling, ne fermentant pas en présence de la levure de bière, soluble dans l'alcool à 90°, légèrement dans l'alcool absolu (1/1400), insoluble dans l'éther, elle fond vers 160° et peut se sublimer; bout à 200° et se transforme en mannitane, et finalement se carbonise. Elle est inaltérable à 100° par les alcalis avec lesquels elle se combine facilement, n'est pas précipitée par l'acétate tribasique de plomb, mais par l'acétate de plomb ammoniacal. Elle se combine aux acides en qualité d'alcool hexatomique, pour faire des éthers (nitromannite, etc.)

Les acides faibles la transforment en mannitane $C^6H^{12}O^5$



et se combinent à elle pour faire des éthers (mannitane acétique, sulfureuse, butyrique, etc.)

MUCILAGES ET GOMMES. — Les matières gommeuses et mucilagineuses

qui se rencontrent dans la betterave, ont une analogie complète avec la gomme arabique. Elles sont solubles dans l'eau froide, précipitables par l'alcool. La gomme est un composé alcalin (de chaux et de potasse) de l'*acide gummique* ou *arabine* $C^6H^{10}O^5, H^2O$, corps lévogyre

$$[\alpha]_D = - 36^\circ \text{ (environ).}$$

Les gummates de chaux et de baryte sont solubles dans l'eau, celui de plomb est insoluble, ce qui fait que les gommés sont précipitables par l'acétate de plomb.

Chauffée vers 120 ou 130° la gomme se convertit en acide métagummique insoluble dans l'eau froide, mais se transformant de nouveau en gummate soluble dans l'eau bouillante. Les propriétés des métagummates et celles des métapectates, sont identiques, ce qui fait qu'on les confond dans les réactions des jus.

Cependant, malgré l'incertitude qui règne sur ces combinaisons pour différencier leur origine, gomme ou pectine, leur pouvoir rotatoire peut entrer en ligne de compte. Ainsi Scheibler donne à un produit la rotation

$$[\alpha] = - 88,7$$

Ce produit doit être l'*acide métagummique*, en réservant le nom d'acide métapectique aux produits dénués de pouvoir rotatoire et de composition analogue.

ARABINOSE. — Scheibler a extrait de la gomme et de l'acide métapectique des jus, par l'action de la chaux, un corps dextrogyre de formule $C^6H^{10}O^5$ infermentescible,

$$[\alpha]_D = + 105$$

en beaux prismes solubles dans l'eau, insolubles dans l'alcool, et qu'il a nommé *arabinose*. Au moment de sa dissolution, l'arabinose présente, comme le glucose, un pouvoir rotatoire presque double.

Son sel de chaux est soluble dans l'eau et précipitable par l'alcool.

§ 3. Matières organiques.

La betterave, comme nous l'avons vu, contient outre le sucre et l'eau des matières formant la carcasse de la racine, c'est-à-dire sa substance cellulaire et ligneuse, et d'autres dissoutes dans le jus, servant à sa nutrition.

La cellulose et le ligneux qui entrent dans sa constitution, sont des corps essentiellement stables, dont nous n'aurons pas à nous occuper. Il n'en est pas de même de la *pectose*, matière abondante qui s'associe à la

cellulose pour les mêmes usages, mais qui est capable de transformations faciles; de même les matières azotées ou protéiques, qui constituent pour ainsi dire les matières vitales de la plante, nous occuperont avec d'autant plus d'intérêt, que leur présence doit être évitée dans les jus avec le plus grand soin par le fabricant.

Les matières organiques que l'on rencontre dans les jus sucrés sont les suivantes :

D'abord, les hydrates de carbone dont font partie les *sucres*.

Les *polysaccharides*, tels que les gommés, la pectine, etc., qui sont déjà transformés en gummates et métapectates solubles.

Les *acides* simples proprement dits : acides acétique, succinique, etc.

Tous ces corps sont combinés à la potasse, la soude ou la chaux.

Viennent ensuite les corps à fonctions complexes, qui sont les plus intéressants au point de vue des réactions que l'on constate dans les jus, et que l'on nomme *acides-alcools*, *acides-aldéhydes*, *acides-éthers* et *acides-alcalis*. — Ces corps participent des propriétés acides en même temps que celles des alcools, des aldéhydes, des éthers et des alcalis.

Tels sont les acides lactique, malique, tartrique et autres. La mannite rentre dans la même catégorie. Il y a aussi le sucre de gélatine ou glyocolle que l'on prétend avoir rencontré dans les jus à l'état de glycollate de chaux. On voit que ce sont les substances les plus répandues dans l'organisme végétal.

L'acide malique, par exemple, est à la fois un acide bibasique et un alcool monoatomique. Sous l'influence de la chaux en excès, de l'ammoniaque ou des sels azotiques et de la chaleur pendant la carbonatation, il peut se transformer en acide aspartique, qui lui-même est un acide bibasique en même temps qu'une base puissante sous le nom de malamine. C'est un acide-alcali. L'acide aspartique peut ensuite se transformer en un amide, en présence de l'ammoniaque, et devenir l'asparagine.

D'ailleurs, selon Tiemann, l'acide aspartique, pendant la carbonatation, fait déjà l'asparto-carbonate de chaux soluble, la plaie du travail des betteraves non arrivées à maturité, ou altérées dans les silos.

Viennent, enfin, les matières azotées proprement dites, l'*albumine* et ses dérivés, avec quelques autres moins abondantes, comme la *bétaïne*, dont les transformations sont très complexes.

L'action des acides, des alcalis, des ferments sur l'albumine est de la décomposer en corps amidés, glycollamine, leucine, tyrosine, et aussi en malamine ou acide aspartique.

La chaleur a à peu près les mêmes effets, mais donne encore d'autres alcalis dérivant de la série grasse ou de la série aromatique.

Nous retombons donc toujours sur les acides-alcools ou les acides-

alcalis que nous envisagions précédemment, jouant alternativement le rôle d'acides et d'alcalis et capables de se combiner à la chaux et à la potasse aussi bien qu'aux acides forts pour former les sels organiques azotés des jus et des sirops.

Si ces acides se combinent facilement aux alcalis, beaucoup de ces combinaisons azotées, dérivant de l'albumine, sont détruites par la chaux et la potasse caustique, mais donnent des alcalis amidés puissants. C'est pourquoi on ne doit se servir de la chaux qu'à bon escient, et suivant l'état des jus, portant toute son attention sur la première carbonatation quand on a affaire à des betteraves vertes ou altérées.

Quand on fixe le degré d'alcalinité auquel on doit arrêter la carbonatation, on ne doit donc pas oublier que, parmi les alcalis mis en liberté par la chaux, se trouvent des ammoniacales composées, susceptibles de faire des combinaisons avec les sels en présence, et de se changer en acides correspondants sous l'action des oxydants. C'est la cause de la non-fixité de l'alcalinité qui diminue presque toujours de la carbonatation à la cuite.

Nous avons vu que, pendant la carbonatation, quelques sels organiques font des combinaisons doubles avec l'acide carbonique. Ces corps, comme beaucoup de ces combinaisons amidées, ont une réaction neutre aux indicateurs.

La plupart des sels amidés font deux combinaisons avec les alcalis, soit le sel normal et le sous-sel, ce dernier étant celui qui existe presque toujours dans la fabrication, les alcalis étant en excès. Leur réaction est alcaline.

Les amido-carbonates, en présence des alcalis et même des carbonates alcalins, peuvent se transformer en amido-sels alcalins. De même il peut y avoir double décomposition entre un sel organique faible et un autre plus fort carbonaté, mettant une partie de l'acide faible en liberté.

Nous nous sommes étendus sur ces multiples réactions qui se passent toutes dans les jus depuis le moment où ils sont chaulés jusqu'à celui où ils sont à l'état de sirop, pour expliquer comment un jus alcalin, non seulement peut rétrograder, mais même devenir acide.

Sur les liquides, contenant des sels organiques et des ammoniacales composées, l'action des déféquants acides peut donner des combinaisons amidiques nouvelles. Les ammoniacales sont, en effet, immédiatement saturées. Les acides organiques mis en liberté peuvent faire, avec les sels ammoniacaux formés, des amides acides et des acides amidiques solubles, qui se retrouvent ensuite dans les jus et les sirops.

En résumé : les matières azotées du genre albumine, sous l'action de la chaux en excès, se transforment en corps amidés formant des sels

solubles avec la chaux et la potasse, et des amido-carbonates au moment de la carbonatation. Ce sont les sels de chaux du jus.

Les amido-carbonates, en présence d'organates de chaux à acides faibles et à réaction alcaline, tendent à former des carbonates et des sels amidés de chaux, mettant l'acide en liberté, d'où rétrogradation de l'alcalinité jusqu'à réaction acide.

On voit combien complexes sont toutes les réactions qui se passent dans le jus. Nous ne faisons que de les indiquer sommairement pour montrer aux chimistes dans quelles directions ils devront pousser leurs recherches.

L'effort du chimiste-sucrier doit être d'abord d'éviter autant que possible la formation des sels de chaux, en soignant sa première carbonatation, ou lui substituant un travail approprié s'il se trouve en présence de betteraves anormales, trop jeunes ou trop avancées, poussées sur mauvais engrais, etc. C'est là le point le plus délicat et, on pourrait dire, le plus essentiel de tout le travail de l'usine, car lorsque la défécation est bonne, tout le reste n'est plus qu'un simple jeu, tandis qu'une défécation mauvaise entraîne avec elle tant d'accidents que parfois au lieu d'extraire du sucre on ne fait que de la mélasse !

Nous allons maintenant passer à l'étude des corps contenus dans la betterave.

MATIÈRES ORGANIQUES NON AZOTÉES

PECTOSE. — On connaît fort peu de chose sur la pectose, sans doute parce qu'il y a peu à connaître à son sujet. C'est une matière neutre insoluble dans l'eau et dans l'alcool, et qui ne jouit que d'une seule propriété évidente, c'est de se transformer, soit par l'effet de la maturation du fruit, soit par l'action des acides faibles, en pectine.

PECTINE. — C'est une matière blanche, neutre, incristallisable, très soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool qui la précipite de ses solutions en gelée, si la solution est étendue, en filaments si elle est concentrée, non précipitable par l'acétate neutre de plomb, mais bien par le sous-acétate.

L'eau bouillante la change en *parapectine*.

Les acides étendus la convertissent en *métapectine* et, finalement, en *acide métapectique*.

Les alcalis la transforment immédiatement à chaud en pectates.

La *pectase*, ferment particulier qui se rencontre dans les fruits, la transforme en acide gélatineux, dit *acide pectosique*.

Les alcalis et carbonates alcalins étendus et froids, la transforment en *pectosates*.

PARAPECTINE. — Matière neutre au papier de tournesol, soluble dans l'eau, incristallisable, insoluble dans l'alcool qui la précipite de ses solutions en gelée transparente.

Les bases la transforment en *pectates*, les acides étendus et bouillants, en *métapectine*. L'acétate de plomb et le sous-acétate la précipitent.

MÉTAPECTINE. — Matière soluble dans l'eau, incristallisable, rougissant le tournesol, insoluble dans l'alcool.

Les bases la transforment en *pectates*.

Le chlorure de baryum la précipite à l'exclusion de la pectine et de la parapectine.

Les acides étendus et bouillants s'unissent à la métapectine, pour faire des composés solubles dans l'eau, précipitables par l'alcool.

ACIDE PECTOSIQUE. — Corps gélatineux, à peine soluble dans l'eau froide, insoluble en présence des acides, soluble dans l'eau bouillante, mais devenant insoluble, même dans l'eau bouillante par refroidissement.

Les alcalis en excès, la pectase, l'eau bouillante, le transforment rapidement en acide pectique.

ACIDE PECTIQUE. — Gelée incolore, transparente, insoluble dans l'eau, l'alcool, l'éther, rougissant le tournesol.

Les acides, les sels, l'alcool, même le sucre, le précipitent sous forme de gelée de ses sels.

L'eau bouillante le tenant en suspension, le transforme à la longue en *acide métapectique soluble*.

Les alcalis, presque tous les sels organiques à base d'ammoniaque, surtout les pectates solubles, dissolvent l'acide pectique.

L'acide pectique déplace l'acide carbonique de ses combinaisons.

Les sels pectiques alcalins sont solubles dans l'eau.

Les pectates de chaux et de baryte sont insolubles.

L'eau bouillante à 150° change ces sels en parapectates.

ACIDE PARAPECTIQUE. — Corps incristallisable, formant des sels solubles avec la potasse, la soude et l'ammoniaque, et insoluble avec les autres bases ; précipitable par l'acétate de plomb.

ACIDE MÉTACEPTIQUE. — Soluble dans l'eau, incristallisable, faisant des sels solubles avec *toutes* les bases.

Ne précipite pas par l'acétate de plomb, mais par le sous-acétate.

Un excès de base colore ses sels en jaune.

Une longue ébullition le transforme en acide acétique et ulmique.

Tous ces corps sont dénués de pouvoir rotatoire. Soumis à une température de 200°, ils se décomposent en eau, acide carbonique, et en un corps noir (acide pyropectique).

Les formules de tous ces corps dérivent de celle de l'acide métapectique, dont elles sont des multiples. C'est ainsi qu'on a les formules suivantes :

Pectose	inconnu.
Pectine	$C^{64}H^{80}O^{56} 8 H^2O$
Parapectine	$C^{64}H^{80}O^{56} 8 H^2O$
Métapectine	$C^{64}H^{80}O^{56} 8 H^2O$
Acide pectosique	$C^{32}H^{40}O^{28} 8 H^2O$
— pectique	$C^{32}H^{40}O^{28} 4 H^2O$
— parapectique	$C^{24}H^{30}O^{24} 2 H^2O$
— métapectique	$C^8 H^{10}O^7 2 H^2O$

ACIDE GLUCIQUE ($C^{12}H^{18}O^9$). — Lorsqu'on traite un sucre par un acide concentré (sulfurique, chlorhydrique) il se forme de l'acide glucique. Lorsque l'on abandonne à froid la solution d'un glucosate alcalin ou que l'on fait bouillir un alcali avec du glucose, la liqueur brunit et se change en glucate (Péligot).

L'acide glucique est incolore, incristallisable, soluble dans l'eau et l'alcool. Au-dessus de 100°, il se décompose et brunit fortement. Sa solution aqueuse bouillie au contact de l'air, brunit de même. En contact avec le carbonate de chaux, il en chasse une partie de l'acide carbonique, pour faire du glucate.

Glucate de chaux (neutre). — Gelée transparente attirant l'acide carbonique, très soluble dans l'eau; un courant de gaz carbonique le décompose en carbonate de chaux et en glucate acide.

Glucate acide de chaux. — Corps cristallisable en aiguilles solubles dans l'eau et l'alcool.

ACIDE APOGLUCIQUE ($C^{24}H^{26}O^{13}$). — C'est le corps qui se produit lorsque l'on fait bouillir une solution d'acide glucique au contact de l'air ou d'un glucate alcalin. C'est un corps brun, déliquescent, soluble dans l'eau, un peu dans l'alcool, fort altérable.

Une altération plus profonde produit les corps ulmiques que nous étudierons plus loin.

ACIDE MALIQUE ($C^4H^6O^5$) Acide bibasique et alcool monoatomique. — Corps solide, cristallisé, fusible à 83° . L'acide malique naturel dévie à gauche le plan de polarisation.

L'acide malique artificiel est inactif. L'acétate de plomb le précipite. Les réducteurs le transforment en acide succinique (voir acide aspartique).

Le *malate de chaux* est soluble dans l'eau. A l'ébullition, il perd de l'eau et devient insoluble. Abandonné à lui-même, il se change en succinate ; par l'action du froid prolongé, il se produit en même temps du carbonate de chaux hydraté ainsi qu'une *matière mucilagineuse*, et quelquefois de l'acide butyrique.

Il existe un *bimalate de chaux* soluble, que la chaux en excès change en malate. Il est tantôt actif, tantôt inactif au polarimètre.

L'acide malique se rencontre généralement dans les végétaux, à l'état de malate de chaux.

ACIDE LACTIQUE ($C^3H^5O^3$) Acide-alcool. — C'est un corps liquide dont la densité à 20° est égale à 1,243, qui se produit dans la fermentation lactique. Tous les lactates sont solubles dans l'eau, presque tous dans l'alcool.

Le *lactate de chaux* ($C^3H^5CaO^3 + 5Aq$) cristallise en petites aiguilles blanches, rayonnées en mamelons opaques, solubles dans l'eau et l'alcool. Il existe un lactate moins hydraté dit *sarcrolactate*.

ACIDE CITRIQUE ($C^6H^8O^7$) Acide tribasique et alcool monoatomique. — Corps solide cristallisé en gros cristaux rhomboïques, très soluble dans l'eau. Il renferme 2 équivalents d'eau de cristallisation, fond à 175° . Les citrates alcalins sont solubles. Les citrates alcalinoterreux sont solubles à froid, insolubles à chaud. C'est ainsi que le citrate de chaux ne se précipite qu'à l'ébullition.

La solution aqueuse de l'acide citrique, suivant Muspratt, devient avec le temps, très facilement muqueuse. Le citrate de chaux, d'ailleurs, ne se conserve pas longtemps, surtout en présence des ferments ; il s'altère, dégage des gaz hydrogène et carbonique, et forme du butyrate et acétate de chaux.

ACIDE OXALIQUE (C^2O^3, H^2O ou $C^2H^2O^4$).— Solide, cristallisé en gros prismes transparents qui renferment quatre équivalents d'eau de cristallisation ($C^2H^2O^4 \cdot 4H^2O$) soluble dans l'eau et dans l'alcool, fusible à 98° . Les

sels de potasse sont connus sous le nom de sel d'oseille. Son sel de chaux est éminemment insoluble dans l'eau.

L'acide oxalique est bibasique.

ACIDE ACÉTIQUE ou vinaigre. — Tous ses sels sont solubles.

Sa densité à l'état anhydre et liquide est	1,0635.
— avec 20 0/0 d'eau	1,0735.
— avec 50 0/0 d'eau	1,0600.

MATIÈRES ULMIQUES ET HUMIQUES. — La chaleur, les acides et les bases produisent sur le sucre un effet de décomposition dont le résultat consiste en corps bruns ayant beaucoup d'analogie entre eux, mais que les divers auteurs ont séparés d'après leur origine. C'est ainsi que nous avons vu se former les produits caraméliques sous l'action de la chaleur.

Les acides donnent naissance en premier lieu, aux acides glucique, apoglucique, comme nous savons. Lorsque la décomposition est poussée plus loin, on découvre dans les produits noirs qui en résultent, l'*acide ulmique* ($C^{48}H^{34}O^{17}$), corps soluble dans les alcalis et dans l'eau pure, insoluble dans les solutions acides ou salines, et enfin son dérivé, l'*ulmine* ($C^{48}H^{28}O^{14}$), insoluble dans toutes les liqueurs.

Lorsque l'on traite un sucre par une base, et particulièrement le glucose, on forme des glucates. Pousse-t-on plus loin l'action de l'alcali, le corps brunit, et l'on peut en précipiter alors par les acides, un corps brun que Péligot nomme *acide mélassique*, et qui constitue le même corps que l'*acide humique*, mal défini jadis. Cet acide mélassique est soluble dans l'alcool, mais insoluble dans l'eau. Les mélassates alcalins sont solubles et incristallables ; les mélassates alcalino-terreux sont insolubles. L'acide mélassique aurait pour formule $C^{42}H^{12}O^5$ ou bien $C^{48}H^{48}O^{20}$. Le produit extrême de décomposition serait l'*humine* moins hydratée que l'acide humique ou mélassique.

ASSAMARE. — C'est une matière jaune rougeâtre, fort amère, fort colorante, très soluble dans l'eau, neutre, précipitable par l'acétate de plomb, décomposable à 120° et qui provient de l'action de la chaleur sur les sucres, celluloses et autres matières analogues. On lui attribue la formule $C^{24}H^{26}O^{13}$, par conséquent plus hydratée que l'acide ulmique. Les acides le transforment en un produit brun ulmique, avec formation d'acide formique et d'une huile odorante. La potasse, outre un produit humique, donne naissance à l'acide formique et à un produit volatil rappelant l'odeur du rhum.

MATIÈRES AZOTÉES.

Les matières azotées que l'on rencontre dans la betterave, sont peu nombreuses. Elles dérivent presque toutes du principe albuminoïde, point de départ, aussi bien dans l'économie animale que dans celle des végétaux, des fonctions de la vie et de la décomposition après la mort. Frémy et Déhérain ont constaté que la betterave contient de 4,50 à 19,80 0/0 de matière sèche en matière azotée et, d'après Champion et Pellet, la quantité de matière azotée est d'autant plus grande que la betterave est plus riche en sucre, mais que la quantité d'ammoniaque est d'autant moindre.

On peut classer les matières albuminoïdes comme il suit :

PROTÉINE. — Ce corps avait été considéré comme un principe particulier, auquel on avait donné la formule $C^{18}H^{25}Az^4O^3$; son nom venait du mot grec *πρωτος* (principe), parce que l'on pensait que c'était de cette matière que naissaient toutes les autres. On la précipite de l'albumine par l'action d'un acide sur sa combinaison avec la potasse et la soude. Il y a dégagement d'hydrogène sulfuré, de sulfhydrate d'ammoniaque, formation d'une petite quantité d'acide phosphorique. La protéine ainsi préparée s'unit à la chaux et forme un magma poisseux.

Quelque contestée que soit la nature de ce corps, la réaction n'en existe pas moins, et les inconvénients qui en résultent pour la fabrication, sont faciles à expliquer en lui donnant un nom; c'est pourquoi, il est resté longtemps en usage, quoiqu'il n'ait pas lieu de subsister.

ALBUMINE ($C^{72}H^{112}Az^{18}SO^{22}$). — On la distingue en albumine soluble et albumine insoluble.

L'albumine, soluble dans l'eau, est coaguable par la chaleur. Sa densité est égale à 1,2617, elle dévie à gauche le plan de polarisation :

Albumine de l'œuf.	$[\alpha]_d = - 35^{\circ}5$
Sérine	$[\alpha]_d = - 56^{\circ}$

L'acide chlorhydrique ajouté jusqu'au moment de la précipitation, donne pour pouvoir rotatoire de l'albumine $[\alpha]_d = - 37^{\circ}7$.

La potasse $[\alpha]_d = - 47^{\circ}$

L'acide chlorhydrique pour la sérine donne $[\alpha]_d = - 71^{\circ}$

L'albumine est insoluble dans l'alcool, l'éther, les huiles essentielles; son pouvoir diffusif est très faible.

L'albumine se coagule par la chaleur de 59°5 à 63°. Les liquides très étendus contenant l'albumine végétale, ne coagulent pas. Les carbonates

alcalins empêchent la coagulation de l'albumine par la chaleur. L'albuminate de chlorure de sodium se coagule par la chaleur, à moins que le chlorure de sodium soit en très grand excès.

En présence des alcalis caustiques, la séparation de l'albumine sous forme de précipité par l'action de la chaleur, n'est plus complète ; une partie reste en solution à la faveur de l'alcali ; mais l'albumine n'en est pas moins modifiée, vu qu'elle se sépare à l'état insoluble par la neutralisation du liquide. En augmentant la potasse ou la soude, on arrive à une limite où l'ébullition ne trouble plus la solution.

L'albumine possède des tendances faiblement acides. Les composés alcalins sont solubles. La plupart des acides la font passer à sa modification insoluble ; quelques acides, comme l'acide chlorhydrique, ne la précipitent qu'en solution concentrée et en masse considérable, mais l'altération n'en existe pas moins et se révèle par le changement de pouvoir rotatoire. De plus, en neutralisant par un alcali, l'albumine coagulée se sépare. Celle-ci était maintenue dissoute par suite d'une combinaison avec l'acide, combinaison soluble dans une eau peu chargée d'acide.

Les acides acétique, tartrique, phosphorique normal et carbonique qui semblent être sans effet, provoquent des modifications analogues. Ainsi, l'acide acétique donne un précipité avec l'albuminate de potasse. Beaucoup de sels métalliques, le sulfate de cuivre, le bichlorure de mercure, le sous-acétate de plomb, le nitrate d'argent, etc., précipitent les solutions d'albumine pure ou alcaline, tantôt en la coagulant comme le bichlorure de mercure, tantôt en lui conservant sa solubilité comme le sous-acétate. Dans le premier cas, le dépôt renferme l'albumine insoluble combinée tant à l'acide qu'à la base du sel.

Albumine insoluble. — Elle rougit le tournesol, se liquéfie quand on la surchauffe dans l'eau, mais le liquide obtenu n'est plus précipitable par la chaleur. Elle chasse l'acide carbonique de ses combinaisons alcalines. Les acides acétique, tartrique, phosphorique, la dissolvent.

CASÉINE VÉGÉTALE OU LÉGUMINE. — Les réactions de la légumine et de l'albumine sont analogues, sauf que la légumine ne se coagule pas par la chaleur, et est précipitable par tous les acides, même l'acide acétique. La caséine unie à une petite quantité d'alcali, n'est pas précipitée par l'acide carbonique. Les carbonates alcalins, phosphates de soude, sel marin, chlorhydrate d'ammoniaque, nitrate de potasse, etc., dissolvent la caséine.

La caséine chauffée avec le carbonate de chaux, forme un produit insoluble dans l'eau.

Les acides oxalique, tartrique, malique et citrique, dissolvent la légumine.

Les alcalis à chaud décomposent la légumine avec dégagement d'ammoniaque. La chaux et la baryte forment des sels insolubles, mais à l'ébullition, ils la décomposent en formant des sels solubles avec dégagement d'ammoniaque.

Le tableau suivant résume l'histoire de toutes les matières albuminoïdes, tant animales que végétales (*Albuminoses, peptones, etc.*).

Solubles dans l'eau	} congu- bles par la chaleur	} soulo. . .	} avec l'acide acétique	Albumino et sérine, ne précipite ni par l'acide acétique, ni par l'acide phosphorique.
				Vitelline, n'est probablement qu'un mélange d'albumino et de caséine.
non coagulables par la chaleur	} non coagulables par la chaleur	} soulo. . .	} avec l'acide acétique	Matière azotée des globules, insoluble dans le sérum et peut se changer en :
				Hématocristallino, cristallisée en prismes, tétraèdres, tables hexagonales, rhombes ;
				Hydropisino, insoluble dans une eau chargée de MgSO ₃ , ne se colore pas en rouge par l'eau de chlore ;
				Pancréatine, insoluble dans l'eau chargée de MgSO ₃ , se colore en rouge par Cl.
				Paralbumino, se coagule en flocons ;
				Métalbumino, donne un trouble peu abondant.
Insolubles dans l'eau	} non coagulables par la chaleur	} soulo. . .	} avec l'acide acétique	Caséine du lait, identiques avec les albuminats alcalins, se coagule par la présence de l'eau, et précipite par les acides acétique et phosphorique.
				Légumine, mêmes réactions.
				Ferments solubles caractérisés par les réactions qu'ils provoquent.
				Albuminose diffusible, non précipitable par les acides, précipité par HgCl.
Insolubles dans l'eau	} non coagulables par la chaleur	} soulo. . .	} avec l'acide acétique	Ichtidino, mal définie.
				Insolubles dans l'eau salpêtrée ou aiguisée de 1/100 d'HCl
				Soluble dans l'eau salpêtrée
				Soluble dans l'eau aiguisée de 1/100 d'HCl
				Soluble dans l'eau
				Caractères peu tranchés, pas de coloration violette avec HCl

ASPARAGINE (C⁴H⁸Az²O³ + H²O) Alkali-acide. — Corps solide cristallisé en gros prismes rhomboïdaux droits à faces hémiedriques, dont la densité est égale à 1,519. Sa solubilité dans l'eau est de 1,72%, suivant Sachs, et de 1,66, suivant Champion et Pellet. Elle est soluble dans les alcalis et dans les acides, et possède un pouvoir rotatoire gauche, différent suivant le dissolvant :

En solution ammoniacale, il est égal à	(α) _d = - 11°18'	(Boucharlat.)
— aqueuse	(α) _d = - 6°14'	(Champion et Pellet.)
— dans l'eau, avec 10 0/0 d'AzH ³	(α) _d = - 11°23'	id.
— dans l'eau, avec 10 0/0 d'HCl	(α) _d = + 37°27'	id.

L'acétate tribasique de plomb produit le même effet que les acides. Selon Dubrunfaut, il y a 2 ou 3 % d'asparagine dans les jus de betterave.

L'acide acétique, en proportion suffisante, détruit le pouvoir rotatoire de l'asparagine, dans les jus comme dans les mélasses.

Les combinaisons de l'asparagine avec la chaux, la baryte, etc., sont solubles dans l'eau. A 100°, elles se décomposent en dégageant de l'ammoniaque et forment de l'aspartate de chaux ou de baryte.

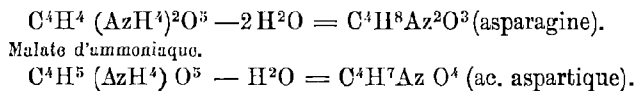
ACIDE ASPARTIQUE (C⁴H⁷AzO⁴) Acide-alkali (appelé aussi *malammine*). — Cet acide se présente sous deux modifications, actives ou inactives sur la lumière polarisée.

La première a pour pouvoir rotatoire $(\alpha)_d = +27,86$. Elle dérive de l'asparagine par l'ébullition avec les alcalis.

La deuxième provient de l'action de la chaleur sur le malate d'ammoniaque.

Ces acides s'unissent aux bases et aux acides. Tous les aspartates sont solubles dans l'eau. Le sel de chaux est indécomposable par l'acide carbonique, avec lequel il peut se combiner pour faire l'asparto-carbonate de chaux.

L'acide aspartique, sous l'influence de l'acide azoteux, se transforme en *acide malique* (C⁴H⁶O⁵) avec dégagement d'azote. C'est que l'asparagine et l'acide aspartique dérivent de l'acide malique, dont ils forment la malamide et la malammine.



BÉTAÏNE. — Découverte en 1866, par le D^r Scheibler, dans la betterave qui en contient 1/10 ou 1/4 % suivant qu'elle est moins ou plus mûre ; elle se dissout facilement dans l'eau et se transforme rapidement en acide oxalique. Elle est cristalline, déliquescente ; sa solution saturée à 25°, contient 61,8 % de base anhydre, et a pour densité 1,1177. Elle est inactive sur la lumière polarisée, sa saveur est fraîche et sucrée, inactive sur les réactifs colorés. Séchée à 100°, elle contient C³H¹¹AzO², et cristallise avec deux molécules d'eau 2(H²O). La chaleur la boursouffle ; elle répand l'odeur de la triméthylamine, puis du sucre brûlé, et laisse finalement un charbon très divisé.

PEPTONES. — On a constaté dans les jus altérés la présence d'une peptone. Ces corps sont caractérisés par un pouvoir rotatoire gauche voisin de $[\alpha]_D = -63,8$ et par leur propriété de faire avec la chaux des

sels solubles. Au point de vue analytique aussi bien qu'à celui de la fabrication, ce sont donc des corps fort gênants.

Les peptones sont solubles dans l'eau en toute proportion, et leur solution a une réaction acide. Elles sont insolubles dans l'alcool absolu, mais solubles dans l'alcool étendu d'autant plus qu'il y a plus d'eau en présence. Insolubles dans l'éther, chloroforme, etc.

Les peptones dialysent faiblement, mais beaucoup plus que l'albumine. Elles forment des sels avec les acides et les alcalis, mais ces sels se dissocient par l'eau et la dialyse.

Elles ne précipitent pas par les acides minéraux, chlorhydrique, phosphorique, sulfurique, azotique, etc., pas plus que par le chlorure de fer, alun, sulfate de cuivre, acétate et sous-acétate de plomb, nitrate d'argent et sels de mercure. Mais elles précipitent par le Cl, le Br, l'I, le tannin, ainsi que par le sous-acétate de plomb ammoniacal, et le nitrate d'argent ammoniacal.

Les peptonates de chaux et de baryte sont solubles et ne précipitent que partiellement par CO_2 , mais totalement par l'alcool.

Les peptones sont des produits d'hydratation de l'albumine. Leur chaleur de combustion (4800 à 5300 selon Donilewski) est moindre que celle de l'albumine (5800). Aussi les actions déshydratantes les changent en albumine, telles que le chauffage pendant une heure à 80° en présence de l'acide acétique anhydre, le chauffage à 160° , ou encore en présence de l'alcool bouillant longtemps avec du chlorure de sodium. Les peptones paraissent fréquentes et parfois abondantes dans les betteraves échauffées en silos.

§ 4. Matières minérales.

Nous avons vu dans les tableaux qui donnent la composition moyenne des betteraves, ainsi que dans l'exposé des propriétés chimiques du sucre et de ses combinaisons avec les différents sels, les principales matières salines qui entrent dans la betterave.

Les différentes substances qui constituent la racine dans son ensemble, proviennent de deux sources dans la végétation; elles sont empruntées à l'air qui environne le feuillage, et au sol dans lequel végète la betterave proprement dite. Les sels qui circulent dans la sève proviennent du sol, tandis que la matière organisée emprunte à l'atmosphère la plus grande partie de sa substance. Les sels que nous retrouverons dans la betterave, seront donc les mêmes que ceux que l'analyse nous aura fait reconnaître dans le sol, mais on remarquera que parmi ces substances,

certaines paraîtront plus aptes à entrer dans l'essence de la plante ; car si l'on compare les sels de soude absorbés par la racine, aux sels de potasse, par exemple, ces derniers seront en bien plus grande abondance dans la betterave que les premiers, même dans un sol où la soude dominerait. Ces quelques observations nous mènent donc au principe réel de la culture, qui consistera à fournir le sol où pousse un végétal des substances pour lesquelles il aura une prédilection certaine, car les plantes, comme les animaux, vivent de préférence, et avec la santé la plus robuste, dans les lieux où ils peuvent trouver leur subsistance assurée. Donc, puisque la betterave *aime* les sels de potasse et les absorbe, il faudra lui en fournir, en évitant les places où les sels de soude sont en trop grande abondance.

Les substances minérales que l'on rencontre dans la betterave, sont la potasse, l'acide phosphorique, la soude, la chaux, la magnésie, l'acide sulfurique dans les sulfates, le chlore dans les chlorures, et enfin la silice. Voici, d'après Gruneberg, les proportions dans lesquelles ces substances se rencontrent, dans les racines et leurs feuilles.

Potasse	200
Acide phosphorique	50
Soude	44
Chaux	36
Magnésie	24
Chlore	20
Acide sulfurique	12
Acide silicique	50

Ces nombres n'ont rien de constant : C'est ainsi que l'on attribue encore en moyenne, la composition suivante aux sels :

Carbonate de potasse	45
Chlorure de potassium	30
Phosphate de potasse	10
Sulfate de potasse	5
Carbonate de soude	17

avec le rapport de

Sels de potasse et de soude	0,4
Sel de chaux	0,2
Total pour cent des matières solubles . . .	0,6 0/0

Nous reviendrons sur cette composition, à propos des engrais.

CHAPITRE II

TRANSFORMATIONS CHIMIQUES DE LA BETTERAVE PENDANT LA FABRICATION

§ 1. Généralités.

Lorsque l'on coupe la betterave par un plan perpendiculaire à l'axe, on aperçoit une série d'anneaux concentriques. La couche extérieure est épaisse et coriace, de la nature du liège; les couches concentriques sont séparées par le cambium qui ne contient presque pas de sucre et est très riche en pectose et en matières albuminoïdes. Les cellules et vaisseaux qui composent ces couches concentriques contiennent le jus. On remarque que plus une betterave a le tissu serré, plus elle est riche en sucre, plus son jus est dense, et plus la betterave est lourde sous un plus petit volume; les betteraves, au contraire, dont le tissu est lâche, sont pauvres en sucre. On voit de là que la densité des betteraves est variable. C'est ainsi que la densité moyenne peut être considérée comme de 1,09. Nous en avons rencontré ayant plus de 1,11 de densité.

Le collet de la betterave contient très peu de sucre et beaucoup de sels; le fabricant ne saurait donc être trop sévère à la réception des racines pour l'*ététagé* par un plan perpendiculaire à l'axe, passant par la dernière rangée de feuilles. La queue de la racine, au contraire, est très riche.

D'après ce que nous venons de dire de la structure intérieure de la betterave, on comprend quel intérêt on doit avoir à travailler par les méthodes de diffusion. En effet, les presses exigent l'emploi de râpes qui transforment en bouillie la pulpe, dont elle déchire le parenchyme, mêlent les parties riches et les parties pauvres en sucre avec celles qui contiennent de l'albumine, en sorte que la presse extrait tout ce qui se trouve dissout sans compter une quantité considérable de pulpe folle, et donne ainsi un jus fort impur. La diffusion, au contraire, consiste à mettre la betterave coupée en lamelles minces, par un instrument bien tranchant, en contact avec de l'eau. Par l'effet des phénomènes d'osmose, le sucre seul et les sels diffusent à travers les parois des cellules qui se remplissent d'eau pure, et l'albumine et autres matières colloïdes restent

dans les cellules et ne viennent pas salir le jus. De là provient que dans le courant du travail, on remarque beaucoup plus de facilité à traiter le jus de diffusion que les autres.

Nous avons passé en revue les principales matières élémentaires de la betterave et du jus, et leurs transformations chimiques. Or, quelles sont parmi toutes ces transformations celles que nous rencontrerons sur notre route en fabrication ? C'est ce qui va nous occuper actuellement.

Il n'y a rien de si changeant que la constitution de la betterave. Qu'on prenne une de ces racines quelques jours avant sa maturité, et qu'on la compare avec une autre qui ait passé ce terme de maturation de quelques jours, et l'on aura deux individus parfaitement différents. Le premier sera riche en matières organiques âpres, comme l'acide malique, qui entraveront la fabrication ; dans le second, se développeront déjà des matières d'un autre ordre, telles que la pectine, et ensuite les matières albuminoïdes et les ferments, aussi nuisibles que les premières ; il est donc indispensable de bien choisir le terme moyen pour l'arrachage, après la disparition des acides et avant la formation des matières mucilagineuses et glaireuses. Malheureusement, la racine vit encore hors de terre, et la végétation continue dans les silos, moins vite, il est vrai, qu'en terre, mais trop vite encore, puisqu'au bout de deux mois, la betterave a perdu beaucoup de sa qualité.

§ 2. L'eau.

Le principal élément constitutif de la racine, le véhicule de la vie pour ainsi dire, c'est l'eau, l'eau qui n'y entre pas pour moins de 80 à 85 0/0 au moment de l'arrachage, et qui varie beaucoup dans tout le cours de la fabrication, suivant que la betterave se trouve dans un lieu sec ou humide. En effet, la betterave agit pour l'eau, comme une véritable éponge, au point qu'on peut lui en faire perdre très rapidement sa presque totalité, et la lui faire reprendre ensuite. Ainsi, Maumené, en moins de deux mois, rien que par l'exposition dans un lieu sec et aéré modérément, a vu disparaître 74,4 0/0 du poids d'une betterave, en eau vaporisée. De plus, la perte est très considérable au commencement, puisque le premier jour, elle perdit 4 0/0 de son poids, et le troisième jour, il en manquait déjà 11 0/0. Cette même racine, en trois jours, reprit dans l'eau 9,3 0/0 de son poids. Cette eau, si facile à perdre et à gagner, agit comme dissolvant de toutes les matières constitutives du jus.

Corpora non agunt nisi soluta, les corps n'agissent pas les uns sur les

autres, s'ils ne sont dissous, dit le vieil adage des alchimistes. Aussi Schutzenbach a-t-il pensé qu'en desséchant les racines, il les préserverait de la décomposition. A cet effet, il coupait les betteraves en lanières ou cossettes, qu'il desséchait dans un courant d'air chaud rapide. La betterave, en effet, se conservait mieux, mais il ne put trouver un moyen économique et pratique de priver d'eau toute une récolte, et d'ailleurs, d'après Frémy et Boutron, dans les betteraves desséchées, le suc travaille et fermente lentement et donne naissance à de l'acide lactique. Le procédé, tout ingénieux qu'il était, n'a pu se généraliser. Il a été repris depuis, mais n'a pas eu plus de succès.

§ 3. Les sucres.

Le second corps que nous étudierons dans la betterave, celui qui nous occupe le plus, *le sucre*, est peut-être le plus fugace, le moins stable de tous, parce que la racine porte en elle-même tous les éléments nécessaires et suffisants pour le détruire, les acides et les ferments. Sa formation est encore un problème, malgré les nombreuses discussions qui se sont élevées à ce sujet, entre les chimistes et les naturalistes les plus éminents, comme nous l'avons fait voir dans notre introduction. Ce que l'on sait seulement, et c'est le principal pour la fabrication et la culture, c'est faire de grandes récoltes contenant beaucoup de sucre, par le rapprochement des plants et l'emploi d'engrais appropriés. C'est le but que le cultivateur honnête doit rechercher, et que l'expérience, plutôt que la théorie, peut nous apprendre.

Le sucre ne peut pas être extrait entièrement de la betterave, pour plusieurs raisons. La première, celle qu'il est le plus facile d'éviter et que l'on arrive à diminuer beaucoup dans les pays où la fiscalité le permet, provient de l'imperfection des procédés qui abandonnent des résidus encore sucrés. En France, depuis 1884, l'impôt principal se prélève sur le poids de la betterave travaillée. Aussi depuis cette époque a-t-on cherché tous les moyens d'extraire le plus de sucre possible de la racine, chaque kilogramme de sucre extrait en plus diminuant le taux de l'impôt qui se répartit ainsi sur un poids de sucre plus considérable. Avant cette époque il en était autrement; car l'impôt se payait sur le sucre fabriqué, et les dernières portions extraites coûtant fort cher on avait intérêt à laisser le sucre difficilement extractible dans les résidus. Mais à ce métier là la sucrerie française faillit mourir, et la loi de 1884 l'a sauvée d'une ruine certaine.

L'autre est tout chimique et provient des matières étrangères au sucre, que contient la betterave, et du mode de travail du jus.

Nous avons vu que, lorsque l'on fait bouillir une solution sucrée ou qu'on la laisse séjourner longtemps, une partie du sucre se transforme en sucre incristallisable ; c'est donc une grande imperfection de chauffer les jus à une température élevée, et on ne doit le faire en fabrication que le moins possible. D'ailleurs, les appareils à évaporation dans le vide ont rendu sous ce rapport, un grand service, en permettant d'élever fort peu la température d'ébullition. Les acides que contiennent les betteraves entrent en première ligne comme cause destructive du sucre dans le travail, si l'on n'a pas soin de tenir les jus alcalins le plus longtemps possible, alcalinité faible, d'ailleurs. Ces acides proviennent soit d'un défaut de maturité, soit d'un commencement de fermentation dans les racines.

Enfin, une grande partie du sucre reste dans les mélasses. Ici règne encore quelque peu d'obscurité, en dépit des travaux des chimistes les plus éminents et les plus ingénieurs de tous les pays. Autrefois, on attribuait aux sels métalliques de la betterave, les seules raisons de la formation de la mélasse, à cause des combinaisons que ces sels forment avec le sucre. Comme nous l'avons vu précédemment, l'influence mélassigène des sels est bien amoindrie dans l'esprit des chimistes, depuis les nombreux travaux de Feltz, Durin et autres. On s'est rejeté alors exclusivement sur les matières organiques, puis sur le glucose. Enfin, les chimistes sont parvenus à s'entendre, en remarquant qu'il y a une proportion constante entre les sels et la mélasse, 3,7 pour les mélasses de fabrique, 5 pour celles de raffineries, et sans préciser que les sels soient causes exclusives ou seulement partielles de la mélasse, on les regarde comme *témoins proportionnels* de la formation des mélasses, selon une expression élégante. Il faut donc que le cultivateur d'abord, le fabricant ensuite, fixent bien leur attention sur ce point, qu'ils doivent empêcher le développement des sels dans leurs betteraves, soit par un engrais bien approprié, soit par un bon procédé d'élimination, en cours de fabrication, des produits organiques qui rendraient les jus visqueux ou acides, et transformeraient le sucre en mélasse ou en sucre incristallisable. Ajoutons enfin que, dans les sucres bruts et dans les mélasses de fabrique, on rencontre toutes les matières que le travail n'a pu enlever ; les sucres retiennent des sels et des matières organiques de toutes sortes, et les mélasses contiennent, transformés, tous les éléments dont nous avons donné la nomenclature, dans des proportions très différentes, variables avec le mode de travail ; le glucose seul ne s'y rencontre presque pas, vu les méthodes alcalines que l'on emploie et qui le détruisent.

Après le sucre de canne, nous rencontrons dans les jus d'autres ma-

tières sucrées qui proviennent des transformations dues à la fermentation ou autres actions chimiques.

La *mannite* ne peut être considérée que comme une impureté peu nuisible au sucre, facile à enlever par le clairçage ; il faut éviter l'action des acides, qui la changeraient en mannitane, s'uniraient avec elle et pourraient constituer des sels plus tenaces et plus salissants. La chaux, détruisant l'effet des acides, évitera cette fâcheuse transformation. D'ailleurs, la mannite, n'ayant aucun pouvoir rotatoire, ne sera jamais comptée que comme impureté dans l'analyse polarimétrique.

Les *gommes* et les *mucilages* sont de vrais fléaux de fabrication, car leurs combinaisons avec les alcalis, et la chaux en particulier, sont solubles dans l'eau ; il faut se résoudre à les voir toujours près du sucre et passer dans les mélasses. Peu nuisibles par eux-mêmes, ils peuvent le devenir si le jus est trop neutre, car alors, à la cuite, leur décomposition commencerait et rendrait la masse légèrement acide, en même temps que la matière charbonneuse colorerait le jus. On ne saurait donc trop recommander de ne pas travailler un jus neutre, et les fabricants aujourd'hui sont d'ailleurs pénétrés de ce principe.

Le *glucose* ou plutôt *sucre incristallisable*, est un véritable ennemi pour le sucre, selon plusieurs chimistes, car non seulement il agit comme mélassigène, mais encore sa présence semble activer la transformation du sucre en nouvelles doses de glucose. Cette influence est-elle réelle, ou bien n'est-elle que corrélative de la présence de matières acides qui intervertissent le sucre, en sorte que le glucose serait en quantité proportionnelle à celles des matières actives, c'est-à-dire que le glucose serait, comme plus haut les sels, témoin proportionnel de cette transformation ? Méhay prétend que la betterave contient toujours du sucre incristallisable qu'il évalue à 0,58, pour un jus contenant 12 de sucre. D'après ses expériences, le sucre aurait son siège dans la racine, le glucose dans le pétiole, et les acides, l'acide oxalique entre autres, dans la feuille. Cet acide passerait à l'état de sucre à travers le pétiole, par l'état intermédiaire glucose, qui, par conséquent, doit toujours se trouver dans la betterave avec une quantité d'acide oxalique, qu'il évalue à 0,22. Le sucre, le glucose et l'acide oxalique se trouveraient même dans la feuille, mais le maximum d'acide est dans la feuille, et le maximum d'état intermédiaire, ou glucose, dans le pétiole. Nous avons vu dans notre introduction que telle n'est pas tout à fait la genèse du sucre dans la betterave, mais cette hypothèse se rapproche beaucoup de la vérité. Cependant, il se transforme toujours dans le cours du travail, depuis l'arrachage de la betterave, une certaine quantité de sucre en sucre incristallisable ; la cause n'en est pas bien cer-

laine, et ce que l'on attribue aux acides provient peut-être de causes plus difficiles à atténuer encore, telles que l'action de l'air, etc.

En faisant bouillir du jus contenant du glucose avec la chaux, on le transforme en glucate de chaux soluble, puis en apoglucate brun, enfin en produits noirs qui, unis à la chaux, sont insolubles. C'est la défécation ancienne qui a toujours été considérée comme la meilleure, pour éliminer le glucose.

§ 4. Matières organiques.

MATIÈRES PECTIQUES. — Les matières pectiques constituent les principes gélatineux des fruits. C'est à elles que l'on doit le phénomène de la prise en masse de leurs extraits ou confitures, ainsi que des jus de betterave, quand on les abandonne à eux-mêmes.

Comment un jus clair peut-il se transformer en gelée ?

Il existe dans les fruits et surtout dans la pulpe des fruits verts, ainsi que dans certaines racines, telles que les carottes, les navets, la betterave, etc., une matière appelée *pectose*, intimement mêlée avec la cellulose. Elle est complètement insoluble dans l'eau et les autres dissolvants. Si l'on pouvait conserver cette matière à cet état, elle ne nuirait en rien à la fabrication, et passerait dans les pulpes avec la cellulose. Mais la pectose se transforme très facilement sous l'influence des acides et de la chaleur en *pectine*, corps soluble dans l'eau et qui est le point de départ de toutes les transformations suivantes. Or, dans la betterave, comme dans tous les fruits, il existe des acides organiques qui suffisent pour amener cette transformation. Les fruits mûrs ne contiennent plus que de la pectine.

Côte-à-côte avec la pectose, se trouve en très petite abondance, un corps que l'on nomme la *pectase*, et qui joue vis-à-vis de la pectine, le même rôle que la levure de bière vis-à-vis des matières fermentescibles. Il se passe en effet, entre la pectase et la pectine, une véritable fermentation que l'on nomme *fermentation pectique*. Cette action est aidée considérablement par la chaleur, au-dessous de 100°; mais à 100°, elle est détruite. Or, sous cette influence, la pectine se change en acide pectique d'abord, puis en acide pectosique, deux acides gélatineux dont l'ensemble constitue les confitures. Or, que remarque-t-on lorsque l'on abandonne à lui-même le jus de betterave? C'est que, au bout d'un temps même très court, il devient visqueux et pris en masse. C'est cet inconvénient qu'il faut éviter, et nous allons étudier les différentes phases dans lesquelles peut se trouver le jus à déféquer et le moyen d'éviter de perdre du sucre.

Pendant la diffusion sous l'influence de la chaleur et des acides de la betterave, il se forme forcément de la pectine ; que va-t-il se passer ?

1° Si le jus séjourne longtemps loin de la chaux, la pectase peut transformer la pectine en acide pectosique, gélatineux, ou bien, s'il n'y a pas de pectase, cas presque impossible à moins de macérer à 100°, elle se transforme en acide métapectique, surtout en présence de la pectose des pulpes folles.

2° Si le jus séjourne en présence de la chaux, la pectine se transforme en pectosate de chaux, insoluble.

3° Si le jus se trouve en présence d'un grand excès de chaux, la pectine se transforme en pectate de chaux, insoluble.

4° L'ébullition de la pectine, en présence d'un grand excès de chaux, la change en métapectate de chaux, soluble.

Nous allons passer en revue détaillée, ces différents états qui sont les seuls dans lesquels le jus puisse se trouver pendant la fabrication.

1° La pectase, avons-nous dit, agit presque immédiatement sur la pectine, pour la transformer en acides gélatineux pectique et pectosique. Donc, si le jus est abandonné à lui-même, sans agent qui arrête cette fermentation pectique, le jus se transforme en une matière glaireuse, et le sucre se changera simultanément en mannite, en sorte que la masse n'est plus bonne absolument à rien. Ce cas s'est présenté autrefois dans quelques essais mal dirigés de diffusion, mais il se présente aussi journellement dans le travail des fabriques, quoiqu'en faible proportion, lorsque le jus contient des *pulpes folles* ; car cette pulpe folle est une matière organisée ayant un volume relativement considérable dans la sphère liquide qui l'environne, et dont la surface seule est en contact avec la chaux des jus. Cette masse organisée contient dans ses cellules, de la pectose, qui se transforme en pectine, métapectine, acide métapectique, avant que la violente coction finale ne déchire le tissu et ne mette en présence de la chaux ces acides qui formeront alors avec elle des sels solubles que l'on retrouvera dans le jus, et qui nuiront par suite énormément au travail. Il est donc bien nécessaire d'éviter la présence des pulpes folles dans les jus.

J'ai supposé plus haut qu'il pouvait ne pas y avoir de pectase. Ce cas ne peut se présenter que si l'on a détruit le ferment par une température élevée. A 100°, l'action de la pectase est paralysée. Alors la pectine, sous l'influence de la chaleur, se change en parapectine et acide pectique et métapectique ; de plus, par l'action des acides, la parapectine se change en métapectine qui s'unit à ces acides. En sorte qu'à la défécation, on a tout à la fois : pectate de chaux insoluble, métapectate soluble, sels de métapectine solubles, exactement comme avec les pulpes

folles, ce qui présente un fort mauvais travail et a fait jadis renoncer à la macération Schutzenbach.

2° Dans le cas où la pectine séjourne longtemps à froid en présence de la chaux, comme dans la conservation des jus Maumené, dans les tuyaux Linard, etc., la pectine se transforme en pectosate de chaux, la chaux n'étant pas en grand excès; mais aussitôt que le pectosate de chaux va passer à la défécation, l'excès de chaux et la température qui s'élèvera au moins à 75°, le transformera en pectate de chaux, corps insoluble, indécomposable par l'acide carbonique, et vers lequel doivent aboutir tous les composés pectiques pour obtenir une bonne défécation, d'autant plus que le pectate de chaux, en se précipitant, agit comme l'albumine et le carbonate de chaux, entraînant, comme une sorte de laque, les impuretés colorantes et autres qui l'entourent. C'est au point que Claes de Lembeck a proposé de remplacer l'acide carbonique par l'acide pectique. Le pectate passera dans les boues de défécation, et, si les jus ont été bien travaillés dès la râperie, toutes les matières pectiques seront éliminées du premier coup dans ce produit. D'ailleurs, dans l'ancienne défécation, où la chaux n'était pas en excès, l'ébullition du pectosate de chaux suffisait pour le transformer en pectate.

C'est aussi ce qui arrive lorsqu'après la diffusion on chauffe les jus chaulés dans des réchauffeurs avant de les envoyer à la carbonatation. C'est une opération excellente à condition que la température ne soit pas plus élevée que 75°.

3° Si la pectine est mise immédiatement en présence d'un grand excès de chaux, comme dans la défécation trouble, elle se transforme immédiatement en pectate de chaux insoluble; mais le pectate formé dans les conditions précédentes, est plus corsé et se dépose mieux.

4° Enfin, si la pectine échappe à l'action de la chaux, par un motif quelconque, comme dans les pulpes folles ou par insuffisance de chaux, avec de trop mauvaises betteraves et un mauvais mode de fabrication, si le jus se trouve alors en présence d'un grand excès de chaux, comme lorsque l'on veut déféquer simplement avec un grand excès de chaux, la pectine se change en métapectate de chaux soluble, qui se colore en jaune par l'excès de base, et qui, par suite de la longue ébullition qu'il subit jusque dans la chaudière à cuire, se décompose en partie en acide acétique qui contribue à rendre les cuites pleines de sucre incristallisable, et en un corps noir analogue à l'ulmine, qui colore toute la masse.

Selon le D^r Scheibler, le jus de betterave contiendrait parfois des quantités assez notables d'acide métapectique tout formé dans la betterave et à l'état insoluble dans l'eau. Quoique l'existence de ce corps

ne soit pas bien démontrée, que le savant allemand ait pu le confondre avec les gommés et mucilages que nous avons déjà signalés, toutefois, comme tous ces produits se ressemblent par les réactions finales, on n'en constaterait pas moins leur présence par la vilaine coloration de la masse.

En résumé, pour éviter l'influence funeste des matières pectiques, il faut mettre la chaux immédiatement et le plus longtemps possible, en présence des jus, pour laisser former le pectate et le pectosate de chaux, et pour éviter l'action des acides sur la pectine, qui peuvent la transformer en métapectine. En opérant ainsi, on pourra en toute sécurité chauffer le jus à 75 ou 80° à la première carbonatation et le faire bouillir au commencement de la deuxième carbonatation, sans craindre la formation du métapectate de chaux, qui est cause quelquefois que les jus de deuxième carbonatation sont plus colorés et plus riches en matières dissoutes, que les jus de première carbonatation.

ACIDES ORGANIQUES. — *L'acide oxalique* est un de ceux qui sont les plus abondants dans les betteraves. Méhay l'évalue à 0,27. Il est un des plus à craindre, car il est très énergique ; il est aussi l'un des plus faciles à éliminer, puisque son sel de chaux est tout à fait insoluble. D'ailleurs, l'acide oxalique doit être dans la betterave à l'état de sel acide de potasse, non moins à craindre que l'acide lui-même, mais qui y ajoute le très grave inconvénient de mettre sa potasse en liberté sous l'influence de la chaux, cause inévitable de formation de mélasses.

L'acide citrique, qui est assez abondant, formera à l'ébullition calcique des sels de chaux insolubles ; mais par le refroidissement, ils se redissolvent. On a donc beaucoup de chance de le retrouver dans le courant du travail et surtout dans les jus sortant des filtres-presses, où il peut être l'une des causes des fermentations butyriques que les boues acquièrent toujours rapidement.

L'acide acétique ne se trouve probablement pas tout formé dans la betterave, et si on le rencontre dans le cours de la fabrication, c'est à la suite de fermentation ou de décomposition de certaines matières de la betterave. Il est fort peu abondant, mais passe dans les mélasses, car ses sels sont solubles.

L'acide lactique provient aussi de fermentations. Ses sels sont solubles ; on le rencontrera donc dans les mélasses.

L'acide malique. — C'est à cet acide que les fruits, avant d'arriver à leur entière maturité, doivent leur goût aigrelet. La betterave en contient

des proportions variables, suivant son âge. Il faut avoir soin de n'arracher les betteraves que bien mûres, car l'acide malique entrave singulièrement le travail. Le malate de chaux est soluble ; si on l'abandonne à lui-même, surtout à une basse température, il se change en succinate de chaux, peu soluble dans l'eau, mais il se développe en même temps une matière mucilagineuse fort incommode, et même de l'acide butyrique qui répand son odeur nauséabonde dans le jus. Les boues, dans ce cas, ne passent que très difficilement aux filtres-presses. Il faut donc éviter, lorsque l'on a des betteraves peu mûres, de mettre la chaux longtemps d'avance ; les tuyaux Linard et les citernes doivent être pros- crits. Le mieux serait, dans ce cas, d'agir par simple défécation, en ajoutant la chaux dans la chaudière à déféquer, au jus élevé à une température de 80° environ, et portant vivement à l'ébullition. Dans ce cas, l'acide malique se change en malate de chaux insoluble, et le jus peut ensuite se carbonater tout à l'aise. On peut agir de même vis-à-vis de presque toutes les matières azotées, peptones et autres, que l'on a cru reconnaître dans les jus de certaines betteraves. Des réactions analogues se passeront et permettront de s'en débarrasser.

L'acide glucique est le produit de la décomposition en présence de la chaux du glucose qui pourrait exister dans le jus. Le mélange de chaux et de glucose brunit fortement et très rapidement. Aussitôt que la température s'élève, il se forme du glucate de chaux gélatineux, très soluble dans l'eau. Lorsque l'on carbonate de tels jus, le gaz carbonique n'enlève au glucate que la moitié de sa chaux. Lorsque les jus restent acides en travail, après la filtration, sous l'influence de cette acidité le glucose se transforme encore en acide glucique qui, bouillant à l'abri de l'air, soit dans le triple-effet, soit dans l'appareil à cuire, ne se colore pas et subsiste dans les sucres et les mélasses. Il est donc de toute nécessité de détruire le glucose par un travail alcalin, et, en tout cas, de le laisser se former le moins possible.

Acide apoglucique. — C'est lui qui forme en partie la matière soluble qui brunit les jus, en même temps que d'autres produits qui en dérivent et qui sont les matières ulmiques. Ils proviennent de la décomposition de l'acide glucique par les alcalis et la chaleur.

Matières ulmiques. — Ces matières noires et brunes ont deux origines différentes. Elles proviennent soit de l'action des acides sur les sucres et ses analogues, ce sont l'ulmine et l'acide ulmique ; soit de l'action des bases sur les mêmes corps, ce sont l'humine et l'acide humique ou mélassique. Nous avons vu comment les acides transforment le sucre en

sucre incristallisable. Là s'arrête généralement l'action des acides faibles organiques sur le sucre, dans le cours de la fabrication. Mais le glucose, à la défécation, se trouve en présence d'un excès de chaux et se transforme en acide glucique, apoglucique et humine, matière noire qui se précipite à cause de son insolubilité dans l'eau, et enfin, en acide humique ou mélassique qui s'unit à la chaux, pour faire un corps insoluble qui se précipite avec les autres boues. Tant que ces réactions se passent dans la défécation, elles ne peuvent avoir qu'un effet utile. Mais si ces matières échappent à la défécation ou se forment après, on obtient des sirops noirs et des sucres bruns qui caractérisent généralement les sucres faits par les procédés alcalins; dans ces derniers, les acides gluciques sont presque complètement détruits, tandis que dans les sucres blancs, le glucose peut exister encore.

Assamare. — Matière noire, fort amère, fort colorante, très soluble dans l'eau, provenant de l'action de la chaleur sur les sucres, cellulose matières analogues. C'est probablement l'assamare qui communique aux mélasses de betterave, l'affreux goût qui les caractérise.

MATIÈRES ORGANIQUES AZOTÉES. — Les matières azotées sont celles qui provoquent dans les différents produits de la betterave, et dans la betterave elle-même, la fermentation et la pourriture. Sans elles, la racine se desséchait à la longue sans changer de nature autrement que par les quelques réactions signalées plus haut. Mais les matières azotées auxquelles appartiennent, par exemple, la levure de bière, la mère du vinaigre, etc., sont les points de départ de la décomposition putride de tous les êtres qui ont vécu, et les plantes hors de terre appartiennent à cet ordre au bout de plus ou moins de temps. Lorsque la betterave est arrachée, elle vit encore, et l'humidité des silos et des caves entretient cette activité préservatrice de la décomposition. Si la racine, au contraire meurt par étouffement, échauffement ou blessure, la décomposition commence, la racine prend une mauvaise odeur, se couvre de moisissures et quelquefois même de gros vers y font leur demeure. Tout cela ressemble entièrement à la décomposition cadavérique des animaux, et l'odeur même s'en rapproche étonnamment. Les produits de la décomposition sont les mêmes que dans toutes ces sortes d'action, et l'acide carbonique y domine. Il est utile de remarquer que cette action fermentescible et putréfiante n'a lieu qu'en présence de l'eau, l'eau qui préside à toutes les actions chimiques de ce genre et qui est en ce cas élément décomposable indispensable à la réaction. La betterave complètement desséchée ne se putréfie pas, et si l'on a remarqué dans les cossettes desséchées un mouvement de fer-

mentation lactique, c'est qu'évidemment l'humidité de l'atmosphère y avait joué son rôle. Nous ajouterons, car on ne saurait trop le répéter, qu'il faut prendre les plus grandes précautions quand on entre dans une cave mal aérée contenant de la betterave en fermentation ou en putréfaction, car le dégagement carbonique pourrait rendre victime de son imprudence celui qui n'y entrerait pas avec une lumière devant soi ; si la lumière s'éteint, il ne faut pas songer à pénétrer plus avant, il faut aérer la pièce au préalable.

Voyons maintenant le rôle des matières albuminoïdes dans le travail : *protéine, albumine, légumine, etc.* L'albumine ne semble pas exister généralement à l'état pur dans les végétations et les animaux, elle serait toujours à l'état de sel alcalin ; l'action d'un acide sur l'albumine telle qu'on la retire des animaux, comme sur l'albuminate de soude, donne un produit qui est peut-être de l'albumine pure, mais qui, par sa nature plus simple que celle de l'albumine naturelle, lui a fait donner autrefois le nom de *protéine*, car on la regardait comme le principe de toutes matières albumineuses, qui ont reçu de là le nom de *matières protéiques*.

Nous avons vu les propriétés de l'albumine. Dans les jus elle se trouve très étendue, sa coagulation à l'ébullition ne peut donc être parfaite qu'en prolongeant suffisamment l'action d'une température élevée. Lors de l'action de la chaux sur les jus, les alcalis mis en liberté, potasse et soude, peuvent s'unir à l'albumine en formant un composé indécomposable par l'acide carbonique, et la chaleur peut alors ne plus avoir d'action sur elle. C'est en effet ce que l'on remarque parfois, qu'un jus faiblement chaulé, porté à l'ébullition, ne laisse se former aucune précipitation albumineuse. La chaux ne se combine pas à l'albumine, quoique parfois une très faible quantité de chaux puisse s'unir à un excès de matière albumineuse pour former un corps soluble non coagulable par la chaleur. L'albumine acquiert toutes les propriétés de la caséine, ce qui fait penser que toutes ces matières albuminoïdes ne sont qu'une seule et même substance dont les propriétés diffèrent par leur union avec une matière étrangère alcaline ou acide. Enfin la présence du chlorure de sodium, des carbonates alcalins, etc., empêchent la coagulation de l'albumine, quand elle est en petite quantité. Les acides qui ne précipitent pas l'albumine, comme les acides organiques faibles, dissolvent au contraire l'albumine précipitée. En les saturant par la chaux on évite cette action dissolvante. Enfin nous citerons un fait qui s'est présenté parfois en fabrication : dans une double carbonatation mal conduite, il arrive que la matière protéique est régénérée à l'état soluble incoagulable par la chaleur, et on la retrouve alors dans les bas produits, unie en un magma poisseux avec la chaux. Nous expliquons ce fait ainsi.

Certains sels de la betterave abandonnent leur alcali en présence de la chaux : carbonates, oxalates alcalins, etc.; l'albumine qui ne s'unit pas à la chaux forme des albuminates alcalins; l'acide carbonique que l'on projette en grand excès dans le jus peut, lorsque la chaux arrive à être en trop faible quantité pour saturer le gaz carbonique, agir par sa masse, et saturer partiellement l'alcali uni à l'albumine faiblement, et régénérer celle-ci sous la forme que nous avons appelée protéine, corps qui forme avec la chaux restant des produits gluants, indécomposables par l'acide carbonique et solubles.

Tel est l'ensemble des faits que l'on observe en présence d'une faible quantité de chaux, fait très fâcheux pour la défécation et opérations où la chaux entre en fonction à une température élevée. Qu'arrive-t-il lorsque la chaux est en grand excès? Nous devons alors nous reporter à ce que nous avons dit de la caséine, car l'albumine commence par absorber une certaine quantité de chaux, ce qui a fait admettre pendant longtemps qu'il existait un albuminate de chaux. Mais ce composé calcaire n'est assurément plus de l'albumine, car il perd ses propriétés de coagulation par la chaleur; seulement en présence d'un grand excès de chaux, il se précipite entièrement. Donc si une faible quantité de chaux est nuisible à la coagulation de l'albumine, un excès est, au contraire, favorable; mais il faut avoir soin de ne pas élever la température au delà d'une certaine limite, sinon ce précipité calcaire se déforme et donne naissance à des produits visqueux et solubles.

Tous ces phénomènes sont faciles à saisir en suivant attentivement le travail des jus. Dans la défécation de Mathieu de Dombasle on ajoutait de la chaux, l'on faisait bouillir, et l'on obtenait de bons résultats; mais il fallait n'ajouter que juste la quantité de chaux nécessaire pour saturer les acides, 4/1000 au plus, une plus forte quantité nuisait à la défécation pour les raisons que nous venons d'énumérer. La véritable défécation consistait à coaguler l'albumine par la chaleur avant d'ajouter la chaux qui allait alors jusqu'à 7/1000 et plus. Aujourd'hui dans les procédés de double carbonatation c'est 20/1000 de chaux que l'on ajoute. Là viennent se placer différentes observations. La double carbonatation doit être opérée méthodiquement; si l'on chauffe un peu fort à la première carbonatation ce n'est qu'à la fin, pour corser par la coagulation le précipité, sorte de défécation qui ne doit pas être poussée trop avant, car il est certain qu'un jus de première carbonatation bouilli se dépose moins bien qu'un autre qui l'a moins été. Ce n'est que lorsque le dépôt est séparé du jus que l'on chauffe fortement avant la deuxième carbonatation, sans crainte de former le précipité calcaire albumineux.

L'albumine se trouve donc, comme tous les autres produits que nous

avons passé en revue, dans de bonnes conditions en présence d'une grande quantité de chaux, conditions qui deviendraient nuisibles si l'on ne prenait grand soin de faire suivre à ces jus un traitement convenable, car un jus qui a séjourné longtemps en présence de la chaux en excès n'est plus du jus normal, et ne peut être considéré comme tel dans le travail qu'on lui fait subir par la suite. Ce qui fait que bien des expérimentateurs condamnent ces procédés, c'est parce que les essais ultérieurs ne sont pas conduits avec tout le soin que mérite cet état de chose particulier. Un jus de diffusion n'est plus lui-même un jus normal, car il a déjà été chauffé, et il doit avoir un traitement approprié, différent de celui du jus de presse.

Une remarque encore fort importante : nous avons dit que l'albumine en solution étendue se coagulait difficilement ; le fait est que si dans les divers procédés de défécation, et surtout de carbonatation, on ne fait pas bouillir suffisamment les liquides au moment convenable et nécessaire de l'opération, les jus conservent encore des quantités considérables d'albumine non coagulée. En effet, dans le courant du travail, si l'on élève la température, celle des sirops par exemple, on voit encore une sorte de défécation se former, défécation bienfaisante qui, opérée à temps, prévient parfois de grandes difficultés à la cuite. Nous avons vu des sirops impossibles à cuire devenir très bons après un bouillon prolongé, un bon écumage et une forte filtration. Cette difficulté de réunir les matières albumineuses par la coagulation d'un jus faible, a forcé dans l'application du procédé Rousseau, certains fabricants à ajouter soit du blanc d'œuf, soit du lait à leurs jus pour augmenter la dose d'albumine et entraîner ainsi toute celle qui resterait rétive à l'action de la chaleur. Les procédés de double carbonatation n'ont pas ce défaut à cause de la grande quantité de chaux, et aussi du carbonate de chaux en formation, qui se trouve en présence de l'albumine et l'entraîne à la fin de l'opération.

En résumé, la chaux produit sur ces matières protéiques à froid une défécation très bienfaisante. Le temps que la chaux peut séjourner en présence de ces matières doit être aussi long que possible pour que la combinaison soit complète ; aussi peut-on préconiser l'emploi des citernes et des tuyaux pour la conservation prolongée du jus à froid, mais à condition que ces jus soient de bonne qualité. Enfin on devra, autant que possible, éviter l'action de la chaleur sur ces composés qui pourraient régénérer les matières protéiques, tandis que la défécation à froid les enlève fort bien. Maumené conseillait de ne travailler que les jus clairs qui surnagent les dépôts de défécation à froid par les procé-

dés ordinaires, et de suivre un traitement différent pour les boues ; cela serait, en effet, conforme à la raison.

Matières aspartiques. — L'asparagine est un de ces corps que l'on est obligé de souffrir quand même, jusque dans les mélasses, parce que l'on ne connaît pas de matière capable de la précipiter. Elle s'unit tantôt aux acides, tantôt aux alcalis de la betterave, et forme avec la chaux une combinaison soluble. Bien plus, à la longue, elle se décompose et donne un dégagement d'ammoniaque, en même temps qu'il se forme de l'acide aspartique. Cet acide, s'il ne rencontre d'alcali libre, s'unit à l'ammoniaque qui se dégage. Si l'on ajoute de la chaux à la solution d'asparagine, au jus par conséquent, l'asparagine calcique à 100° se décomposera en dégageant de l'ammoniaque et en formant de l'aspartate de chaux soluble, indécomposable par l'acide carbonique qui même se combinera avec lui et qui passera dans les mélasses. Il est donc impossible de se débarrasser de ces matières.

On s'est demandé d'où pouvait provenir l'asparagine. Or, l'acide aspartique est l'un des produits de décomposition des matières azotées analogues à l'albumine. Kreusler l'a démontré en faisant bouillir l'albumine animale avec l'acide sulfurique étendu. Les acides organiques, avec leur action lente et vitale ne produiraient-ils pas le même effet ? A la fin de la campagne surtout, les betteraves sont plus ou moins altérées, quelques fermentations ont parfois commencé à se faire sentir, dans ce cas les matières albuminoïdes ne se seraient-elles pas changées en matières aspartiques en passant ou non par l'intermédiaire protéine ? Ces faits suffiraient pour expliquer comment quelquefois des jus de betterave se sont gâtés en présence de la chaux, ces jus étant assez altérés pour que la liqueur alcaline entre en fermentation lactique ; même avons-nous senti quelque fois un mouvement de fermentation butyrique au sein d'un sucrate de chaux formé dans des liquides altérés.

Il était intéressant de savoir ce que devenaient les matières azotées pendant tout le cours de la fabrication. A. Renard a fait sous le nom de *Migration de l'azote*, un travail dans ce sens dont voici les principaux résultats.

MOYENNE DES QUANTITÉS D'AZOTE 0/0.

	en substances protéiques.	en sels ammo- niacaux.
dans la betterave	0, 1492	0, 0116
pulpe	0, 2768	0, 0104
jus	0, 0864	0, 0159
jus, 1 ^{re} carbonatation	0, 0554	0, 0116
écumes de 1 ^{re}	0, 3611	0, 0030

jus de 2 ^{me}	0,0498	0,0100
écumes de 2 ^{me}	0,1956	0,0048
jus après les filtres	0,0637	0,0079
sirop après le triple-effet	0,3309	0,0113
— les filtres	0,2795	0,0211
masse cuite, 1 ^{er} jet	0,6498	0,0086
sucré, 1 ^{er} jet	0	0
mélasse, 1 ^{er} jet	0,9948	0,0112
masse cuite, 2 ^e jet	1,1006	0,0145
sucré, 2 ^{me} jet.	0,1377	0,0016
mélasse, 2 ^{me} jet	1,2640	0,0180

PERTE EN AZOTE PAR VAPORISATION AMMONIACALE.

Azote provenant		
des substances protéiques.	des sels ammoniacaux.	
0,0181	0,0068	1 ^{re} carbonatation.
0,0050	0	2 ^{me} —
0,0112	0,0062	évaporation triple-effet.
0,0018	0,0032	cuite, 1 ^{er} jet.
0,0016	0	cuite, 2 ^{me} jet.
<u>0,0377</u>	<u>0,0162</u>	

AZOTE ABSORBÉ PAR LE NOIR.

0,0000	0,0022	filtration du jus.
0,0100	0,0000	— du sirop.

AZOTE CONTENU DANS LES ÉCUMES.

0,0144	0,0001	1 ^{re} carbonatation.
0,0009	0	2 ^{me} —

AZOTE DES SUCRES DE 2^{me} JET.

0,0013	0
--------	---

AZOTE DANS LES MELASSES DE 2^{me} JET.

0,0505	0,0002
--------	--------

A. Renard conclut de là que 1 litre de jus abandonnant 0^{sr},539 d'azote ou 0^{sr},653 d'ammoniaque, on peut en extraire 2^{sr},193 de sulfate d'ammoniaque, soit, pour 20 millions de kilogrammes de betterave, 4,386 kilogrammes de sulfate qui sont perdus dans toutes les fabriques. Pellet, dans un intéressant travail, va plus loin. Il prétend que la betterave contient à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien 0^{sr},029 d'ammoniaque pour 100 kilogrammes de racines, que, par conséquent, 20 mil-

lions de kilogrammes de betteraves abandonneraient 24,000 kilogrammes de sulfate ! Ces nombres laissent à réfléchir sur l'utilité qu'il y aurait à ne pas perdre l'ammoniaque qui se dégage dans les fabriques.

§ 5. — Action de l'acide carbonique sur les jus chaulés.

Nous avons étudié l'action de la chaux sur tous les éléments du jus de betterave, parce que la chaux est l'élément déféquant le plus généralement employé ; mais, lorsque l'on a uni les matières constitutives du jus à la chaux, qu'arrive-t-il quand on fait passer le courant d'acide carbonique ?

Il est un fait assez remarquable pour tout opérateur attentif : c'est que si l'on sépare par filtration d'un sirop chaulé l'excès de chaux, pour n'avoir plus qu'un liquide clair, si l'on fait passer dans ce liquide un courant d'acide carbonique, il reste quelque temps sans se troubler, et le gaz semble ne produire aucun effet tout d'abord. Si l'on fait la même expérience dans le sirop en présence d'un excès de chaux assez faible, troublant le liquide, la chaux en excès se dissout dans le liquide en présence de l'acide carbonique, et le sirop redevient clair jusqu'à ce que le gaz ait été injecté en suffisante quantité pour commencer la précipitation du carbonate.

Nous assistons donc là à une série de phénomènes qu'il est utile de connaître ; mais il en est d'autres qui résultent des expériences de Feltz, ayant rapport à la solubilité de certains sels dans l'eau sucrée. Dans une solution de chaux dans l'eau sucrée concentrée, l'expérience se faisant même, mais moins facilement, pour un liquide pesant 5° Baumé, on pourra impunément chercher à précipiter la chaux par les acides carbonique, sulfurique, etc., en petite dose ; ces acides, dont les combinaisons avec la chaux sont insolubles, forment au sein du liquide sucré ces mêmes combinaisons dissoutes en présence d'un excès de chaux. Bien entendu que si l'on dépasse certaines limites le précipité de sel de chaux se forme. Les mêmes expériences faites sur les jus de betterave prouvent que les matières organiques accélèrent la précipitation, en sorte que cette précipitation, qui est la cause effective de l'épuration des jus, est d'autant plus complète que les jus sont plus impurs naturellement. Si dans la même expérience on prolonge l'action d'un acide qui forme avec la chaux un corps insoluble, ou même soluble, la solution se trouble, et il se forme un précipité abondant qui se redissout dans un excès d'acide ; ainsi l'acide citrique, qui forme avec la chaux un sel soluble dans l'eau, versé dans une liqueur sucrée et en présence

d'un excès de chaux, forme un précipité insoluble. Mais voici un fait bien plus important encore : lorsque l'on fait dissoudre la quantité maxima d'un acide quelconque dans l'eau calco-sucrée, l'addition minime d'un autre acide occasionne la précipitation d'une partie du sel calcaire précédent. Ainsi, si l'on ajoute à l'eau calco-sucrée de l'acide citrique jusqu'à ce qu'une autre addition d'acide forme un précipité, un courant d'acide carbonique précipitera une partie du citrate de chaux, et même on peut dire qu'un sel de chaux quelconque, dissous dans l'eau calco-sucrée, est précipité par l'excès d'acide carbonique qui se produira après qu'il aura saturé assez de chaux pour former avec l'autre acide un ensemble précipitable ; mais une trop grande quantité d'acide carbonique provoquera de même la redissolution du carbonate et de l'autre sel calcaire précipité. Ce fait est d'une immense importance, puisqu'il explique comment, d'une part, l'acide carbonique est épurant en présence de la chaux, et, de l'autre, comment un excès du même acide carbonique redissout les sels précipités.

Feltz a fait une autre observation très importante : c'est que les sels précipités dans ces circonstances sont basiques et non pas neutres, ou au moins qu'il y a toujours un excès de chaux entraîné, et que les boues de carbonatation ne contiennent toujours de la chaux non utilisée que parce que la précipitation s'est faite dans ces conditions. D'ailleurs tous ces phénomènes se reproduiront d'autant mieux que le liquide au sein duquel on opère sera plus concentré, ce qui explique la grande efficacité de la carbonatation des sirops.

Donc, si l'on fait usage d'acide carbonique, il ne faut jamais dépasser le point de saturation par cet acide, sous peine de détruire tout l'effet épurant produit. Nous verrons plus loin à quel point il faut s'arrêter.

Comment expliquer tous ces faits ? Il est un corps dont nous avons déjà parlé, sous le nom d'hydrosucrocarbonate de chaux, connu depuis fort longtemps, et dont Boivin et Loiseau ont fait usage comme base d'un mode de raffinage du sucre. Rappelons que lorsque dans une solution de sucrate de chaux marquant 12 ou 13° Baumé, ou dans un sirop de cette concentration dans lequel on introduit 3 ou 4 % de chaux en lait, on fait passer un courant de gaz carbonique, le liquide, sans se troubler, absorbe du gaz en abondance, puis devient louche, puis laiteux et pâteux, et finit par se prendre en masse gélatineuse, translucide, que l'on peut couper en morceaux. Ce fait, connu depuis que l'on fait passer de l'acide carbonique dans les sirops chaulés, avait provoqué de la part de Périer, Possoz et Cail, dans un brevet ayant trait à la carbonatation des sirops, la recommandation de mettre le lait de chaux, pendant le passage du gaz, en filet et non en totalité pour éviter ce magma

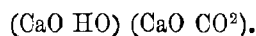
qui cause une grande perte de gaz si l'on veut pousser plus loin la carbonatation ; et, en effet, un excès de gaz finit par détruire cet empâtement et précipiter toute la chaux. D'un autre côté, Wøestyne et Schacher avaient pris un brevet pour laisser former ce même corps gélatineux au sein du sirop à épurer, prétendant que c'était à sa formation qu'était dû tout le pouvoir épurant. C'est l'emploi de cette matière gélatineuse formée par l'action de l'acide carbonique sur un sucrate contenant six équivalents de chaux pour un de sucre, que Boivin et Loiseau ont fait breveter sous le nom d'hydrosucrocarbonate, et qu'ils ont utilisé d'une manière fort ingénieuse au raffinage.

Quoi qu'il en soit, l'existence de ce corps nous explique ce qui se passe dans une partie des faits cités plus haut. Lorsque dans une solution calco-sucrée on introduit les acides sulfurique, oxalique ou autres il se fait des hydrosucrosulfates, hydrosucrooxalates de chaux solubles dans l'eau sucrée. Lorsque la liqueur est saturée de ce corps mixte, celui-ci se précipite, et Feltz a constaté dans ces précipités la présence du sucre ; s'il est assez stable, il conserve sa nature spéciale, comme l'hydrosucrocarbonate qui, gélatineux, se précipite en gelée. S'il n'est pas stable, le sel de chaux seul tombe au fond du vase. Si, enfin, il est stable et solide, il se précipite encore en entraînant par conséquent du sucre. C'est ce qui se passe dans toutes les boues de carbonatation, et surtout celles des sirops carbonatés, dont le plus grand degré de pureté assure une réussite plus grande aux résultats théoriques. Il reste maintenant à savoir quels sont les acides qui, en se précipitant à l'état de sel de chaux, entraînent du sucre.

Il faut bien prendre garde que l'acide carbonique est, à froid, l'un des acides les plus dangereux, car le sucrocarbonate se précipite au sein d'une solution contenant peu ou point de matières organiques. Il faudra donc surveiller son emploi, voir de temps en temps les boues et s'assurer d'un bon travail ; la carbonatation des sirops par le procédé Wøestyne a été abandonné parce que plus de $\frac{1}{5}$ ^e de sucre disparaissait dans les boues. Or, nous avons remarqué que le sucrocarbonate formé à froid se redissout à chaud et que celui formé à chaud ne se redissout pas. Il est donc nécessaire de faire les premières carbonatations à froid, et de chauffer à la fin pour redissoudre le sucrocarbonate, aussi bien dans la carbonatation du jus que dans celle des sirops ; de la sorte non seulement les sucrocarbonates, mais tous les autres composés salins-sucrés se détruiront en abandonnant leur sucre.

Enfin Feltz explique tous les phénomènes d'épuration par la présence de la chaux basique qu'il a toujours rencontrée dans le précipité, et qui proviendrait de la décomposition de l'hydrosucrocarbonate, puisque ce

dernier corps se forme dans tous les cas au sein de la liqueur. Il s'appuie pour cela sur les expériences suivantes : « En dosant minute par minute l'alcalinité du jus d'une chaudière de carbonatation trouble, on constate que la quantité de chaux éliminée, très forte dans les premières minutes devient presque nulle lorsque l'opération touche à sa fin. En répétant l'expérience au laboratoire, en ayant soin de mesurer les volumes de gaz ajoutés, on constate de même l'élimination d'un *excès* de chaux au commencement, et plus tard neutralisation d'une partie de la chaux basique primitivement précipitée. On peut s'assurer que l'épuration produite est en relation intime avec la précipitation de cet excès de chaux, et qu'un gazage prolongé remet en dissolution une portion notable des impuretés, et entre autres la matière colorante. » Ainsi, selon Feltz, la carbonatation ne produit un effet épurant que grâce aux *réactions complexes* qui se passent au sein du liquide et à l'élimination de la chaux caustique que l'on trouve dans le précipité, et non exclusivement à l'action du carbonate de chaux naissant, comme on l'avait admis tout d'abord. Il faut que cette chaux caustique y existe et y reste, sinon l'effet épurant est détruit. Ces faits sont d'ailleurs si palpables dans la première carbonatation que le jus, qui est clair et jaune paille lorsque le travail est bien conduit, se trouble et se colore en brun lorsque la carbonatation est poussée trop avant. Cette chaux basique que l'on rencontre dans les boues paraît provenir de la présence du corps appelé par Boivin et Loiseau hydrocarbonate de chaux et ayant pour formule en équivalents :



Pour terminer, si nous résumons les travaux de tous les auteurs précités, nous remarquerons que l'effet épurant de la carbonatation est attribué par les uns à la formation du surocarbonate, par d'autres à la précipitation du carbonate de chaux naissant, par d'autres encore à l'élimination de chaux basique. Or, la carbonatation consiste justement dans l'ensemble de tous ces phénomènes à la fois qui concourent tous à l'épuration calcocarbonique, et le point où l'on doit arrêter le gaz c'est celui où le précipité se forme par la décomposition subite du surocarbonate, où le carbonate de chaux est naissant, où la chaux basique se précipite. C'est ce point là que les auteurs ont étudié chacun à leur point de vue, et, en réunissant toutes leurs conclusions, nous pouvons former un tout capable de nous éclairer complètement sur la théorie de la carbonatation.

§ 6. — Action de l'acide sulfureux sur les jus et sirops.

Après avoir examiné l'action de l'acide carbonique sur les jus chaulés, il est utile de voir l'action de l'acide sulfureux sur les jus carbonatés ou les sirops, l'emploi de cet agent se généralisant en sucrerie, et de nouveaux procédés d'épuration étant nés à sa suite.

L'emploi de cet acide sulfureux en sucrerie a été indiqué, dès 1810, par Proust. Dubrunfaut prit un brevet pour son emploi, dès 1829. Mais tous les chimistes et industriels qui l'ont essayé à cette époque ont dû y renoncer.

On proposa alors l'emploi des sulfites : sulfites et bisulfites de chaux, sulfites d'alumine, etc., et l'on ne fut pas plus heureux.

Ce n'est que beaucoup plus tard que l'acide sulfureux parvint à donner des résultats palpables en fabrication, mais encore ne trouve-t-on, dans la littérature sucrière, de « résultats satisfaisants » que vers 1882.

Quelle est la raison de cette persistante difficulté de l'intronisation de cet agent dans nos sucreries ? Nous croyons la trouver dans la lenteur avec laquelle les principes rationnels du travail des jus sucrés ont pénétré dans la sucrerie.

Il a fallu une somme de recherches énorme pour se rendre compte à peu près exactement, des réactions chimiques qui se passent dans le travail d'un liquide aussi complexe que le jus de betteraves, liquide dont la composition et les réactions changent continuellement avec le caprice des saisons annuelles. Et quand on a commencé à voir clair dans ces réactions, alors seulement le travail est devenu plus normal, les chimistes ont pu s'imposer à la sucrerie, et l'emploi de l'acide sulfureux est parvenu à se régulariser et à donner des résultats.

L'acide sulfureux est un acide puissant. Bien employé, il donne au fabricant la facilité d'extraire plus aisément le sucre de la betterave ; mal employé, il détruit le sucre et entrave la fabrication. C'est ce qui explique les nombreux déboires auxquels il a donné lieu.

Ce n'est pas qu'on ignorât la façon d'en faire bon usage. Nous retrouvons, en effet, dans un petit livre déjà bien ancien, le Manuel Roret de 1868, des indications précises sur son emploi que l'on ne répudierait pas aujourd'hui. Mais, à cette époque, on ne croyait pas beaucoup à la chimie dans nos Sucreries françaises, et les laboratoires y étaient absolument inconnus ! L'emploi de l'acide sulfureux étant du domaine de la chimie, comment pouvait-on en obtenir un résultat satisfaisant ?

C'est en Allemagne que l'on est parvenu le plus rapidement à se rendre maître de l'usage de l'acide sulfureux. La cause de cette anté-

riorité provient justement de ce que c'est dans ce pays que la fabrication a été mise le plus rapidement entre les mains des chimistes.

En effet, Basset, dans sa revue de l'Exposition Universelle de 1867, époque qui était l'aurore de l'emploi de la double carbonatation en France et du procédé Jélinek dans les autres pays, fait remarquer combien nos produits de sucrerie étaient déplorables à cette époque : sucres déliquescents, chargés de chaux, etc., enfin correspondant à un très mauvais travail, tandis que les sucres allemands étaient secs et de bonne tenue. C'est qu'alors la chimie sucrière était dans son enfance et que ses pionniers étaient mieux reçus dans les sucreries allemandes que dans les nôtres. C'est vers cette époque que j'entraî pour la première fois dans une usine, à Flavy-le-Martel, et tout en suivant tant bien que mal, plutôt mal que bien, les indications de M. Possoz, nous nous écartions tellement, dans les détails, des méthodes que nous suivons aujourd'hui, que de tels résultats ne m'étonnent pas du tout.

C'était l'ère des tâtonnements, qui ne prit réellement fin qu'au moment de l'introduction de la filtration mécanique. Encore celle-ci ne put-elle fonctionner que parce que le travail s'était amélioré lui-même.

En 1882, on retrouve cette mention dans les journaux allemands : « Bons résultats (avec l'acide sulfureux), surtout en fin de campagne, et d'autant meilleurs qu'on emploie plus de chaux à la carbonatation. »

Cette observation résume toute l'histoire de l'acide sulfureux. Et si l'on y ajoute cette note de Manuel Roret de 1868, qui indique « que l'on doit titrer l'alcalinité » dans le jus pour la saturer exactement par l'acide sulfureux, mais que « l'expérience a prouvé qu'il valait mieux n'employer que les quatre cinquièmes de la quantité ainsi trouvée », on voit qu'il suffit de suivre ces indications pour faire un bon travail.

Toutes les règles données depuis diffèrent bien peu de celles-ci. Nous n'aurons donc qu'à examiner les cas particuliers pour pouvoir trouver des méthodes exactes de l'emploi de l'acide sulfureux.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE L'ACIDE SULFUREUX

En 1884, Battut a fait un travail d'ensemble très important sur l'emploi de l'acide sulfureux en sucrerie, le premier qui ait paru en France sur ce sujet. C'est le point de départ de toutes les publications ultérieures de Pellet, Aulard et d'autres, et de Battut lui-même.

C'est qu'au début, à la suite des premières réussites en Allemagne, on crut, dans ce pays comme en France, que l'acide sulfureux était une panacée universelle, décolorant, purifiant, antiseptique, au point de détrôner le noir ?

En réalité, l'acide sulfureux est tout cela, pourvu qu'on en fasse usage au bon moment et dans de bonnes conditions. Dans les bonnes usines, l'acide sulfureux est d'un usage excellent en tout ; dans les usines médiocres, c'est un bon adjuvant, si on sait s'en servir. Enfin, son emploi varie avec les années et les betteraves, ne donnant rien certaines fois et beaucoup certaines autres.

Donc, quand on demande une règle fixe pour l'emploi de cet acide, c'est trop exiger de la chimie. Il faut plutôt demander aux chimistes de bien se rendre compte des cas qui se présentent et qu'ils sachent quand et comment on doit l'appliquer.

POUVOIR ÉPURANT

L'acide sulfureux est-il un épurant ? Battut nous montre, en 1884, que oui, si on sulfite un jus brut. Il a traité, en effet, des jus de presse et de diffusion par une solution titrée d'acide sulfureux, et il a trouvé que 0 gr. 383 d'acide ont précipité en moyenne 0 gr. 441 de matières colorantes et azotées dans les jus de presse soumis à l'expérience, et 0 gr. 186 pour ceux de diffusion. Il y a donc là une épuration bien nette et bien caractérisée.

Vivien avait appliqué l'acide sulfureux dans la batterie de diffusion. Battut a fait voir que, sur un jus contenant normalement 0 gr. 185 de matière précipitable, la sulfitation dans le diffuseur en enlevait 0 gr. 074, et, hors du diffuseur, 0 gr. 111. Vivien n'avait donc laissé dans le diffuseur, avec la cossette, que 40 pour cent des matières précipitables.

Cette expérience prouve bien qu'il n'est pas indifférent d'appliquer l'acide sulfureux en tel ou tel point, et que l'on doit choisir celui où il est le plus efficace. L'épuration doit donc être faite, pour être complète, sur le jus sorti de la diffusion.

Enfin Battut, rappelant ce que j'avais dit moi-même, que lorsqu'un précipité est formé, il faut immédiatement le séparer du jus, sous peine de le redissoudre dans des opérations ultérieures, a traité ces jus, avec leurs précipités, par la chaux et l'acide carbonique. Il a obtenu un liquide d'une pureté moindre qu'en faisant la même opération sur le même jus filtré.

Donc, l'acide sulfuroux est épurant sur le jus brut. L'est-il encore sur le jus carbonaté ? — On peut répondre, avec Battut, que non.

En effet, les matières qui se séparent par l'acide sulfureux sont les mêmes que celles qu'enlève la carbonatation, à peu de chose près. De plus, les jus carbonatés sont alcalins, soit par les alcalis libres ou car-

bonatés, soit par la chaux libre laissée après carbonatation. Le rôle de l'acide sulfureux est donc d'abord de saturer ces alcalis. Si, alors, l'acide sulfureux est en excès, il peut déplacer certains acides organiques faibles et, s'il est en excès encore, agir sur ces acides organiques chimiquement. Malheureusement, on ne peut chauffer un tel liquide, parce que l'acide sulfureux, très énergique, intervient le sucre, et l'acide sulfureux n'est actif qu'à chaud sur ces matières organiques réfractaires à la carbonatation.

Par conséquent, lorsqu'un jus est déjà modifié par la chaux, l'acide sulfureux ne peut plus être employé comme épurant sur ce jus.

Mais, est-il épurant sur les sirops et les bas produits ? Non encore et pour les mêmes raisons, l'évaporation et la cuite ayant transformé les matières organiques en produits supérieurs, plus réfractaires encore à l'action de l'acide sulfureux.

Concluons donc que l'acide sulfureux n'est épurant que sur le jus brut, et que c'est là seul qu'il faut chercher à utiliser cette propriété.

Le seul bénéfice que l'on ait à employer l'acide sulfureux sur les jus bruts est, dit Battut, qu'il faudra moins de chaux à la carbonatation, soit 2 % au lieu de 3 ou 4, pour obtenir le même résultat. Mais l'emploi de l'acide sulfureux, dans ce cas, est soumis à une condition de pratique industrielle, la filtration, sans laquelle on perd presque tout le bénéfice qu'on pourrait en tirer.

Cependant, l'acide sulfureux appliqué sur des jus carbonatés a un autre rôle, devenant épurant dans le sens chimique du mot.

Nous avons dit que les jus carbonatés sont alcalins par la potasse et la soude libre ou carbonatée, et par la chaux libre ou plutôt à l'état de sucrate. Certains jus contiennent, en plus, des sels organiques de chaux solubles, ce que l'on nomme les *organates de chaux*, si nuisibles à la fabrication.

Si l'on sulfite de pareils jus, il se forme des sulfites alcalins et du sulfite de chaux. En chauffant, le sulfite de chaux se précipite presque complètement parce qu'il est très peu soluble.

L'acide sulfureux a donc enlevé aux jus une partie de la chaux qui était restée après la carbonatation. De plus, on sait que les sels organiques sont les ennemis de la cristallisation, tandis que les sulfites sont bien moins mélassigènes que les carbonates et organates, même alcalins. L'acide sulfureux agit donc ici, non seulement comme épurant par rapport à la chaux, mais aussi se substitue à d'autres acides dans les combinaisons salines ou s'y combine, et diminue ainsi leur action mélassigène.

Il y a des cas, malheureusement, où l'acide sulfureux ne précipite

pas toute la chaux organique, comme nous le verrons plus tard ; il y a des combinaisons calco-organiques qui ne se laissent pas décomposer par lui, ou qui se combinent avec lui pour faire des sulfo-organates de chaux solubles. Ces cas sont rares, mais coïncident avec les moments critiques de la fabrication, les mauvaises betteraves. On ne peut donc pas *toujours* compter sur l'acide sulfureux pour éliminer les sels de chaux.

Nous avons dit que le sulfite de chaux était très peu soluble dans les jus. En effet, Weissberg a contrôlé qu'il ne s'en dissout que 0 gr. 082 par litre dans les jus alcalins. Si d'autres auteurs ont trouvé des chiffres plus élevés, c'est que, sans doute, ils ont eu affaire à du bisulfite ou qu'une partie du sulfite s'était transformé déjà en sulfate. Car, c'est là le danger de laisser du sulfite de chaux dans les jus, puisqu'il se transforme finalement en sulfate, si préjudiciable aux appareils d'évaporation.

VISCOSITÉ

Enfin l'acide sulfureux rend les jus et sirops moins visqueux. Quoique l'on n'ait pas de données bien certaines sur la cause de cette différence, quoique le viscosimètre n'indique pas de bien grands changements dans la nature physique des liquides, et quelquefois n'en indique pas du tout, comme Battut le constate, comme je m'en suis assuré moi-même, il n'en est pas moins vrai que les sirops sulfités cuisent mieux. D'ailleurs l'acide sulfureux n'est pas le seul à produire cet effet ; Margueritte, en traitant les cuites plates par l'acide chlorhydrique, les rendait vives, changeant ainsi l'équilibre des éléments organiques dans leurs combinaisons. Il est évident que la notion de viscosité, c'est-à-dire facilité des molécules constitutives du liquide de glisser les unes contre les autres, n'est pas suffisante pour expliquer le phénomène. Quand le viscosimètre ne donne que des différences insensibles entre un sirop acide et un sirop alcalin, pourquoi ce départ brusque de la cuite dans le procédé Margueritte ?

N'est-ce pas plutôt un phénomène d'un autre genre qui faciliterait le détachement des vésicules de vapeur d'une molécule acide plus que d'une autre molécule basique ?

La chaleur spécifique de la chaux et des carbonates varie autour de 0,22. Celle des chlorures, sulfates et sulfites est d'environ 0,17 en moyenne. Quand on transforme la chaux et les carbonates en chlorures et sulfites, ce changement thermique suffit peut-être pour modifier l'équilibre moléculaire dans la masse des sirops, les nouveaux corps formés

demandant moins de chaleur pour s'élever à la température ambiante, et permettant conséquemment à la surface de chauffe de transmettre plus de calories à l'eau qu'il faut évaporer. Les sels à acides forts sont d'ailleurs bien meilleurs conducteurs en solution que les carbonates, et les acides organiques doivent également être meilleurs conducteurs de la chaleur que leurs sels de chaux.

Ne serait-ce pas tout cet ensemble physique qui faciliterait l'évaporation et la cuite des liquides sulfités, beaucoup plus que l'ensemble chimique proprement dit ? Aulard s'est fait l'écho du fait connu de chacun de nous qu'une cuite provenant de sirops sulfités va beaucoup plus vite quoique la viscosité du sirop soit presque la même, et, de plus, le grain est plus sec et se turbine mieux. C'est donc que l'évaporation se fait mieux au contact du grain dont la chaleur spécifique est 0,30, tandis que les sels qui l'environnent n'ont que 0,17 ? Ne serait-ce pas là la vraie cause de la diminution de ce que j'appelais un jour « la viscosité interne », en opposition avec la « viscosité externe » à peine modifiée ?

POUVOIR DÉCOLORANT

La propriété primordiale de l'acide sulfureux, celle qui l'a fait distinguer tout d'abord, c'est son pouvoir décolorant. L'acide sulfureux est employé d'ailleurs dans toutes les industries du blanchiment, il n'est pas étonnant qu'on ait songé à l'utiliser en sucrerie.

Chacun connaît l'expérience de laboratoire qui consiste à décolorer un bouquet de violettes par le gaz sulfureux et à lui rendre sa couleur en le plongeant dans un flacon de gaz ammoniac.

L'action de l'acide sulfureux n'est donc pas une décomposition de la matière colorante ; c'est probablement une combinaison qu'il forme avec la matière colorante jouant le rôle de base faible déplacée facilement par les alcalis plus puissants.

C'est, en effet, ce qui se passe en sucrerie. Un sirop décoloré par l'acide sulfureux brunit de nouveau si l'on ajoute de la chaux ou de la potasse en quantité suffisante pour saturer l'acide.

On en a conclu que la décoloration qu'il produit n'est pas stable.

Il est parfaitement vrai que l'alcalinisation d'un liquide sulfité lui rend sa teinte primitive, et pire peut-être. Mais le bon sens ne dit-il pas de suite que si l'on veut profiter de la décoloration produite, il faut éviter l'addition intempestive d'alcali ?

Seulement, y a-t-il danger à traiter un liquide sucré par l'acide sulfureux jusqu'à décoloration, puis à le travailler à cet état jusqu'à sa cristallisation ?

La pratique constante des sucreries prouve que non.

En effet, lorsqu'on sulfite un jus ou un sirop coloré alcalin, on s'aperçoit que la décoloration est presque immédiate au moment où l'alcalinité est près de disparaître, mais existe encore. Selon nous, c'est au moment où une grande partie des principes alcalins passe de l'état de sulfite à celui de bisulfite, dont la réaction est encore neutre. Par conséquent, en arrêtant la sulfitation juste au moment voulu, et c'est très facile, on aura des liquides exempts d'acide sulfureux libre et bien décolorés.

Ces liquides évaporés et cuits gardent-ils leur décoloration? Les expériences que Battut a faites et publiées en 1890 le prouvent, et la pratique de chaque jour le confirme. Cette décoloration reste jusque dans les mélasses.

Aulard ne craint même pas d'avancer que les liquides franchement acides peuvent se cuire sans inversion. Beaudet a d'ailleurs fait des expériences tendant à prouver que l'acide sulfureux en léger excès était inoffensif sur les sirops quand on les cuit dans le vide, et Urbain a déterminé la température maximum à laquelle on pouvait porter un sirop sulfité acide sans crainte d'inversion, et qui est de 88° à 89° suivant les cas. Or le vide, dans les appareils à cuire, descend rarement au point d'obtenir cette température. Mais si on opère à 100° et plus, comme le fit Battut, l'inversion est certaine. C'est donc la température qui est le plus grand facteur dans l'inversion par l'acide sulfureux. Mais il y a un autre facteur important: c'est la transformation rapide de l'acide sulfureux en acide sulfurique, lequel est inversif même à 80°. C'est pourquoi il faut être très prudent dans l'emploi de l'acidité et surveiller de très près le travail si l'on suit cette pratique.

POUVOIR ANTISEPTIQUE

L'acide sulfureux est un antiseptique. Les jus et les sirops traités par lui se conservent longtemps sans fermenter; mais au bout de quelques jours il se transforme en acide sulfurique ou plutôt en sulfate des bases en présence, et son action antiseptique cesse. Dans les égouts de turbinage il n'en existe presque plus. C'est ce qui fait que les emplis provenant de cuites de sirops sulfités moussent aussi facilement que les autres, et que leurs mélasses fermentent sans encombre en distillerie.

CONCLUSION

De tout ce qui précède, il résulte que l'acide sulfureux bien employé peut rendre des services à l'industrie sucrière, en lui facilitant le travail d'épuration sans épurer lui-même, en diminuant le temps de cuite sans en augmenter le rendement, en donnant des produits plus beaux sans en améliorer la pureté, en permettant enfin de conserver les liquides sucrés sans altération, mais non indéfiniment.

Les propriétés de l'acide sulfureux sont donc tour à tour positives et négatives, ce qui fait que les uns affirment et les autres nient.

C'est donc au chimiste habile à savoir tirer parti de ces propriétés, sans chercher à fonder sur lui des espérances plus grandes que les résultats qu'il peut donner.

A QUEL ÉTAT DOIT-ON EMPLOYER L'ACIDE SULFUREUX ?

Dans tout ce qui précède nous n'avons parlé de l'*acide sulfureux* qu'en termes généraux, omettant à dessein toute formule. C'est que l'acide sulfureux peut être employé à trois états : soit en dissolution dans l'eau, et alors on lui attribue la formule SO^3H^2 soit à l'état d'anhydride gazeux SO^3 , soit à l'état d'anhydride liquide.

Sous ces trois états il ne se comporte pas tout à fait de la même manière, quoique, finalement, quand il est incorporé aux liquides, il prenne définitivement la forme SO^3H^2 .

A l'état d'anhydride, son action est plus vive et plus efficace qu'à l'état de dissolution, et l'anhydride liquide, en pénétrant dans un jus ou un sirop, est plus brutal, pourrions-nous dire, que lorsqu'il arrive à l'état de gaz. Enfin le gaz lui-même est plus actif quand il provient de l'évaporation de l'anhydride liquide, puisqu'il est pur, que quand on l'obtient par la combustion du soufre, n'ayant alors qu'une richesse maxima de 20 pour cent.

Le principal inconvénient des solutions aqueuses est d'introduire de l'eau dans le jus et les sirops, chose tout à fait inutile, et aussi de contenir toujours une certaine proportion d'acide sulfurique provenant de l'oxydation lente de SO^3H^2 en présence de l'eau, par l'air en excès qui arrive des fours avec le gaz.

On ne doit donc employer l'acide sulfureux qu'à l'état d'anhydride, soit gazeux provenant des fours, soit liquide, mais gazéifié.

Il y en a encore un moyen, c'est l'emploi des sulfites, et surtout du bisul-

fite de chaux, ou de ce dernier saturé de SO_2 , que l'on peut appeler le trisulfite. Mais il ne semble pas que les sulfites aient eu un grand succès. On leur reproche de se transformer partiellement en sulfates avant même qu'on les emploie, et l'on sait combien le sulfate de chaux est dangereux en sucrerie.

Cependant Lachaux a signalé son usage dans la batterie de diffusion comme fournissant de bons résultats. La raison en est la suivante :

L'acide sulfureux n'agit qu'en milieu neutre ou acide, comme décolorant. Ajouter un sulfite à un jus ou à un sirop alcalin ne peut donc rien produire. Tandis que sur le jus de diffusion qui est plutôt acide, les sulfites ont un effet immédiat, la chaux saturant l'acidité des jus, et celle-ci mettant SO_2 en liberté.

Les sulfites ne peuvent, en effet, être employés en sucrerie de betterave que dans ce cas particulier.

L'anhydride sulfureux liquide doit être employé avec précaution. On ne doit pas placer la bouteille qui le contient au-dessus des bacs à sulfiter ; elle doit être en dessous pour être certain qu'il ne coule pas, à l'état liquide, de l'acide sulfureux dans les jus ou sirops. Le gaz qui en provient doit pénétrer très divisé dans les chaudières, et le liquide sucré ne doit pas être à plus de 40 ou 50° de température par crainte d'inversion.

Le gaz sulfureux provenant des fours, dilué par l'azote à 20 0/0, est beaucoup moins dangereux que l'anhydride liquide et semble préférable, car on peut l'employer à toutes températures.

La sulfitation des jus et sirops peut facilement se faire dans des appareils à circulation continue. Il suffit, pour cela, de régler la capacité des bacs d'attente et la vitesse de sulfitation de manière à ce que l'écoulement soit constant, et que l'on ne travaille pas plus vite à ce poste qu'aux autres postes de l'usine. D'ailleurs, s'il se produit un arrêt, l'ouvrier ferme son gaz sulfureux pour le régler à nouveau aussitôt que l'écoulement reprend. La surveillance est des plus simples. Prélever de temps en temps un échantillon et s'assurer que l'alcalinité finale ne change pas est chose si facile, qu'un gamin peut être chargé de ce travail.

Si le travail de l'usine est irrégulier, il faut avoir trois bacs : un en emplissage, un sans cesse en travail, un en fin de travail ou en vidange.

RÉACTIONS DE L'ACIDE SULFUREUX DANS LES LIQUIDES SUCRÉS

Voyons, maintenant, l'action de l'acide sulfureux sur les différentes matières qui constituent les jus et les sirops.

Nous avons fait connaître précédemment les matières organiques que

l'on rencontre dans les jus ; outre les sucrates on trouve les gummates et pectates solubles, acétates, succinates, etc., qui sont des sels à acides faibles vis-à-vis de l'acide sulfureux et sont décomposés par lui en sulfites et acides organiques. Viennent ensuite les corps à fonctions complexes, acides-alcools, acides-alcalis, etc., avec lesquels l'acide sulfureux peut faire des sels, des éthers ou des alcools, comme les acides lactique, malique, la mannite, le glyco-colle, etc.

Nous avons étudié plus spécialement antérieurement la transformation de l'acide malique qui peut faire, soit des malates, soit des aspartates, soit des sels d'asparagine.

Suivant le moment où l'acide sulfureux sera injecté dans le liquide sucré, son action sera différente. Si on sulfite après la formation des aspartates, il se combinera à l'acide aspartique, qui joue alors le rôle de base, faisant le sulfite de malamine ou acide sulfo-aspartique, et, par conséquent, le sulfo-aspartate de chaux soluble. ✓

Nous avons examiné ensuite ce que deviennent les matières azotées dérivant de l'albumine, qui forme des sels amidés à ammoniacques puissantes, parfois en excès.

L'action de l'acide sulfureux sur ces sels est de s'emparer d'abord de l'excès d'alcali, puis de déplacer l'acide, donnant ainsi au jus une réaction acide, quoique l'acide sulfureux soit saturé. On peut donc sulfiter acide sans que, pour cela, il y ait d'acide sulfureux libre, et sans crainte d'inversion.

Tiemann a fait une observation intéressante sur l'asparpate de chaux, observation qui peut s'étendre à tous les sels de même basicité. Quand on commence l'action de SO^2 sur sa solution qui est neutre, elle devient immédiatement alcaline. De sorte qu'une solution neutre peut devenir alcaline sous l'action d'un acide ! L'auteur en donne une explication compliquée, mais le fait n'en est pas moins intéressant à noter.

L'acide sulfureux fera en tous les cas des sulfo-amido-sels solubles ou insolubles suivant les circonstances.

L'acide sulfureux, sur les jus carbonatés contenant ces matières, forme d'abord des sels amidés de chaux et du sulfite de chaux ; la réaction du liquide est neutre. Si l'on continue, on met les acides en liberté. Toute la chaux est précipitée et la réaction du liquide est acide.

Sur les liquides rétrogradés, l'acide sulfureux sature d'abord les alcalis, met les acides en liberté, lesquels acides peuvent se combiner avec les sulfites formés, donnant des sulfosels organiques solubles, ce qui explique l'inutilité d'une sulfitation dans ce cas, sulfitation qui est plutôt nuisible qu'utile.

L'effort du chimiste doit donc être d'abord d'éviter autant que pos-

sible la formation des sels de chaux en soignant sa première carbonatation, et s'il a le malheur d'avoir quand même beaucoup de sels organiques de chaux azotés, l'acide sulfureux sera impuissant à corriger le mal.

Quand on concentre des jus contenant des amido-carbonates ou amido-sulfites, l'acide carbonique et l'acide sulfureux peuvent se détacher de la combinaison et se précipiter à l'état de sels de chaux sur les tubes de l'appareil. Les acides organiques sont alors mis en liberté, d'où nouvelle cause de rétrogradation.

Si l'on voulait sulfiter des sirops rétrogradés et qu'on leur ajoutât de la chaux pour leur rendre de l'alcalinité, comme on le fait parfois, on reformerait les sels de chaux détruits pendant l'évaporation et l'on serait dans la même mauvaise situation qu'avant.

CONCLUSION

Lorsque l'on a des jus sains, ne contenant comme sels de chaux que des combinaisons non azotées, comme sels ammoniacaux que les dérivés de la série grasse, et alcalins par la potasse ou la soude et peut-être un peu de chaux, alors l'évaporation chasserait les ammoniacaux, et le sirop serait plus sain que le jus même d'où il provient. En sulfitant de tels sirops on enlèverait la chaux organique, et la cuite serait en tous points excellente.

Mais si, au lieu de sulfiter le sirop, on sulfite le jus, on ferait avant l'évaporation du sulfite de potasse et de soude, du sulfite d'ammoniaque, et les acides organiques seraient mis en liberté, le sulfite de chaux étant précipité et enlevé par les filtres. N'y a-t-il pas à craindre l'action de ces acides organiques sur les sulfites dans la suite du travail et de la longue évaporation ? En tout cas le sirop de ces jus sulfités sera-t-il aussi pur que le même sirop de jus normaux ?

Il nous semble plus sage, lorsque l'on a un jus bien sain, de profiter de sa bonne qualité le plus longtemps possible avant de lui faire subir un traitement quelconque ; l'évaporation produisant forcément des transformations dans la composition des matières organiques, des doubles décompositions et des volatilisations diverses, tant que ces réactions se passent entre corps de même famille il n'y a rien à craindre, tandis que si l'on met en présence des oxydants ou des réducteurs, les réactions qui en résulteront nous laisseront désarmés contre les corps nouveaux formés, l'acide sulfureux n'étant pas un épurant.

Cependant, nous n'oserions pas dire que la règle soit générale. Les

jus sains sont, certaines années, et à certains moments d'une même année, assez difficiles à obtenir, et, parfois, sulfiter les jus avant évaporation peut avoir de bons résultats.

Mais, quand les jus sont tout à fait mauvais, chargés de matières protéiques, rétrogradant à l'évaporation jusqu'à l'acidité, la sulfitation ne donnera pas grand'chose de bon, et pourra même aggraver le mal.

Par conséquent, il y a des cas où l'on ne doit sulfiter ni les jus ni les sirops, après que la chaux a fait sur eux son effet, la sulfitation des jus bruts pouvant seule amener quelque résultat.

C'est au chimiste à savoir se rendre compte de la qualité des liquides sur lesquels il doit appliquer l'acide sulfureux, et comment l'appliquer.

Nous indiquerons quelques règles à ce sujet dans la partie pratique de cet ouvrage.

§ 7. — Acide hydrosulfureux

Schœnbein avait remarqué que l'action de l'acide sulfureux était beaucoup plus énergique lorsque l'on agissait en présence du zinc.

Schutzenberger a étudié ce qui se passait dans ces conditions, et a reconnu qu'il se formait dans cette réaction un nouveau corps qu'il nomma acide hydrosulfureux.

On chercha les moyens d'appliquer ce nouveau corps à la sucrerie ; car, puisque les effets de l'acide sulfureux sont salutaires, il est normal que l'acide hydrosulfureux, beaucoup plus énergique, soit beaucoup plus salubre aussi.

Ranson est le premier qui ait trouvé un moyen pratique d'arriver à ce résultat. L'acide hydrosulfureux est tellement instable que l'on ne peut le préparer utilement d'avance pour l'introduire dans les liquides sucrés en grande masse. Ranson a tourné la difficulté en faisant la réaction au sein même du jus ou du sirop, en ajoutant du zinc en poudre dans le liquide sulfité.

L'acide hydrosulfureux n'est presque acide que de nom. D'ailleurs très instable, il n'offre aucun danger pour le sucre. Mais il atteint profondément les matières organiques que l'acide sulfureux n'avait pu toucher. Il continue donc l'action de l'acide sulfureux.

D'ailleurs Ranson n'applique son procédé qu'à des sirops déjà sulfités. Lorsque l'acide sulfureux a produit tout son effet, que l'on ne peut plus rien obtenir de lui, alors seulement on utilise les propriétés de l'acide hydrosulfureux qui sont si puissantes.

C'est pourquoi les usines qui ne travaillent que par l'acide sulfureux

ne peuvent comparer leurs résultats à celles qui emploient l'acide sulfureux et l'acide hydrosulfureux, ces dernières ayant forcément un meilleur rendement que les autres.

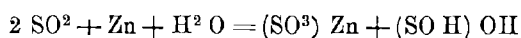
Par conséquent, les fabricants qui sont familiarisés avec l'emploi de l'acide sulfureux, qui l'utilisent aussi bien que possible, trouveront un nouvel avantage à hydrosulfiter leurs produits, et verront leurs rendements s'accroître encore tout en constatant une diminution dans la quantité de mélasse.

C'est pourquoi nous avons fait suivre cette étude de l'acide sulfureux de celle de l'acide hydrosulfureux, car l'une est la suite naturelle de l'autre.

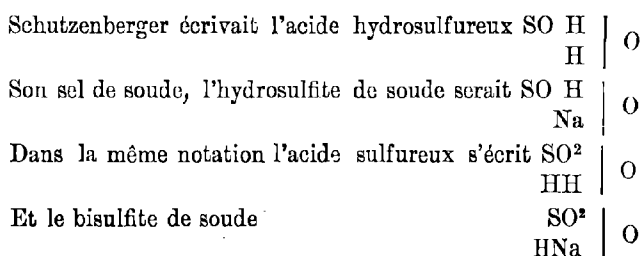
Nous allons donc étudier les propriétés de l'acide hydrosulfureux que l'on connaît, car on en découvre de nouvelles tous les jours, et nous indiquerons ensuite sommairement les principales opérations constituant le procédé Ranson.

CONSTITUTION ET RÉACTIONS DE L'ACIDE HYDROSULFUREUX

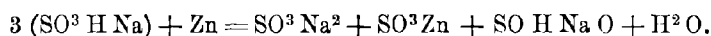
Lorsque l'on fait agir le zinc sur l'acide sulfureux, il se forme de l'acide hydrosulfureux suivant la formule :



Le corps $(\text{SO H}) \text{OH}$ est l'acide hydrosulfureux que l'on écrit $\text{SO}^2 \text{H}^2$

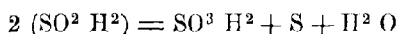


La réaction du zinc sur le bisulfite de soude donnerait donc de l'hydrosulfite de soude d'après la réaction.

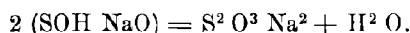


On voit que dans toutes ces réactions il n'y a pas dégagement d'hydrogène. Cependant, quand on met un grand excès de zinc en présence d'une dissolution faible d'acide sulfureux, on remarque parfois un faible dégagement de gaz hydrogène, explicable par l'insuffisance de gaz sulfureux en présence.

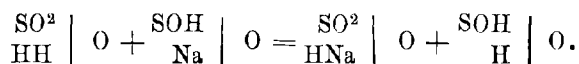
L'acide hydrosulfureux est très peu stable. Abandonné à lui-même il se décompose à son propre détriment avec précipitation de soufre, et formation de $\text{SO}^3 \text{H}^2$.



Tandis que l'hydrosulfite de soude se transforme en hyposulfite :

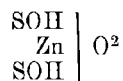


Enfin, l'acide sulfureux peut déplacer l'acide hydrosulfureux de ses combinaisons alcalines :



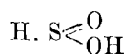
Cette réaction explique pourquoi une faible quantité de zinc dans un liquide alcalin sulfité à réaction acide produit tant d'effet, les hydrosulfites formés régénérant sans cesse l'acide hydrosulfureux tant qu'il existe de l'acide sulfureux en excès.

En effet, le zinc étant diatomique, son hydrosulfite ne peut exister que par la soudure de deux molécules d'acide hydrosulfureux :



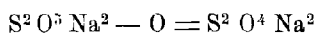
Le sulfite de zinc étant $\text{SO}^2 \text{Zn O}$, une seule molécule de $\text{SO}^2 \text{H}^2 \text{O}$ mettra en liberté deux molécules d'acide hydrosulfureux pour faire $\text{SO}^2 \text{Zn O}$, le sulfite de zinc.

Comment agit l'acide hydrosulfureux vis-à-vis des matières qu'il réduit? Schutzenberger dit qu'il a *toutes les propriétés de l'hydrogène naissant*. Mais ce n'est pas parce qu'il abandonne de l'hydrogène naissant qu'il a cette propriété, attendu que sa décomposition n'abandonne pas d'hydrogène, comme nous l'avons vu plus haut ; il ne forme que de l'acide sulfureux, de l'eau et du soufre. C'est donc comme acide qu'il agit, à la manière de l'acide iodhydrique, dont il a, comme réducteur, les mêmes propriétés. Dans la formule $\begin{array}{c} \text{SOH} \\ \text{H} \end{array} \Big| \text{O}$, l'hydrogène contenu dans SOH est typique et ne peut se substituer. Schutzenberger a donné à l'acide hydrosulfureux une autre formule, comme répondant mieux à ses propriétés, qui est :



dans laquelle on voit que seul l'hydrogène de l'oxhydrile OH est substituable. Une discussion s'est élevée entre Schutzenberger et Bernsten, ce

dernier prétendant qu'il existait des hydrosulfites $(SO)^2 Na^2 O^2 Aq$, c'est-à-dire dans lesquels les deux hydrogènes seraient substitués. Schutzenberger a prouvé que ces corps ne sont pas des hydrosulfites, mais des métahydrosulfites dérivant de l'acide métrasulfureux. En effet, en enlevant de l'oxygène au métrasulfite de soude, on a le métahydrosulfite de soude précédent :

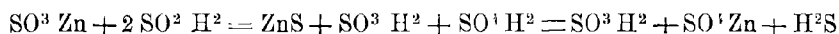


L'acide hydrosulfureux se forme avec beaucoup d'autres corps que le zinc en présence de l'acide sulfureux. Schutzenberger avait signalé le fer, le manganèse et l'aluminium. L'étain produit aussi cet effet. Mais l'action ne semble pas être du même ordre que celle du zinc, car l'aspect du liquide n'est pas le même. Tandis que le zinc donne l'acide hydrosulfureux en solution aqueuse sous l'aspect d'un liquide rouge, avec l'étain la dissolution est incolore et plus active que celle du zinc. Il faut beaucoup moins d'étain que de zinc pour amener la décoloration de l'indigo.

Quand on fait passer un courant électrique dans l'acide sulfureux, autour de l'électrode négative en platine on voit se former l'acide hydrosulfureux avec sa coloration rouge qui est bien sa couleur propre. Les réactions de l'étain sont donc spéciales, plus énergiques, et demandent un complément d'étude.

Berzélius a remarqué que l'étain attaque l'acide sulfureux. Mais il n'avait pas entrevu l'acide hydrosulfureux. Il dit seulement que l'acide sulfureux est décomposé en donnant naissance à du soufre, et à du sulfure noir d'étain, en même temps qu'il se forme un peu d'hydrosulfite stanneux. Ce dernier doit provenir de l'action du soufre naissant sur le sulfite d'étain $SO^2 SnO$ pour faire $S^2 O^2 Sn O$.

Parfois avec le zinc on sent une odeur d'hydrogène sulfuré. On peut se l'expliquer par la réaction de l'acide hydrosulfureux sur le sulfite de zinc :

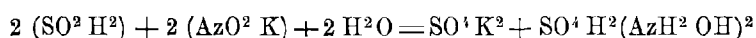


La propriété principale de l'acide hydrosulfureux est d'être un réducteur énergique, comme l'hydrogène naissant. Il décolore toutes les teintures végétales comme le tournesol. Il transforme l'indigo bleu en indigo blanc à froid, etc.

Il agit sur beaucoup de sels métalliques. Il donne instantanément à froid avec le sulfate de cuivre un précipité d'hydrure de cuivre $Cu^2 H^2$ qui même est mélangé de cuivre métallique s'il y a excès de sulfate. Il décolore la dissolution ammoniacale de sulfate de cuivre, en sorte qu'il agit sur la liqueur de Fehling comme les glucoses, en précipitant et dé-

colorant le liquide. Il faut donc tenir compte de ce fait quand on veut étudier le pouvoir inversif de l'acide hydrosulfureux.

Il réduit les sels d'argent et de mercure. Son action sur les azotites et les azotates est non moins remarquable, car ils sont transformés en sulfates d'hydroxylamine :



l'hydroxylamine elle-même $\text{AzH}^3 \text{OH}$ est transformée en ammoniaque ordinaire, $\text{AzH}^3 + \text{H}^2\text{O}$.

Sur les acides organiques son action est très énergique également. Nous les étudions en ce moment et en ferons un travail spécial.

L'albumine est précipitée intégralement de toutes ses solutions par l'acide hydrosulfureux. On sait que l'acide sulfureux est impuissant sur les solutions d'albumine contenant des alcalis ou des carbonates, aussi bien que la chaleur qui ne peut la coaguler complètement même acide en solution très étendue comme les jus. L'acide hydrosulfureux précipite l'albumine à froid de toutes ses solutions acides, alcalines et étendues, ce qui est une propriété de premier ordre pour le traitement des jus de betteraves et de leurs sirops et bas produits.

En présence de ces propriétés si énergiques de l'acide hydrosulfureux il est évident que son emploi en sucrerie doit amener des effets bien plus considérables que ceux de l'acide sulfureux.

C'est en effet ce qui arrive, car si l'acide sulfureux est épurant comme nous l'avons vu, sur le jus brut seulement, l'acide hydrosulfureux, est épurant même sur les jus travaillés et les sirops, puisqu'il agit sur leurs sels aussi bien que sur leurs matières organiques.

Nous nous bornerons à ces quelques données sur les propriétés de l'acide hydrosulfureux qui sont presque les seules que l'on connaisse d'ailleurs, et nous verrons plus loin son emploi pratique dans le procédé Ranson.

LIVRE DEUXIÈME

CULTURE DE LA BETTERAVE ET DES PORTE-GRAINES

CHAPITRE PREMIER

CULTURE DE LA BETTERAVE

§ 1. — Contrats.

Une fabrique de sucre est un établissement tout à la fois industriel et agricole. L'excellence de l'opération résidera dans la qualité des produits de l'agriculture qu'on lui fournira, dans le bon agencement de l'usine, la bonne direction du travail de fabrication, une administration générale intelligente, le tout appuyé sur un capital de roulement suffisant pour parer à toute éventualité. Joignons à cela la facilité des moyens de transport, chemins de fer, canaux et routes, auxquels s'ajouteront tous les procédés inventés depuis, tels que câbles ou tuyaux souterrains si besoin est.

Pour l'établissement d'une fabrique, on devra donc d'abord s'inquiéter de la nature du pays, à savoir s'il est propre à fournir de la bonne betterave en abondance, apprendre à connaître le caractère des cultivateurs de l'endroit, car, dans certaines contrées, les fermiers imbus de principes antiques préféreront végéter que de gagner quelque argent avec les cultures modernes, et refuseront net leur concours à une œuvre comme celle-là.

Enfin on devra se placer à proximité des grandes voies de communication. Ce dernier point qui, dans l'ordre des idées, suivra naturellement les autres, doit les primer cependant lorsque vient l'instant de la construction ; car les voies faciles de communication sont l'un des points de première économie de la fabrique, pour diminuer les prix énormes de transport qui grèvent toute fabrication ; tellement que depuis l'invention des tuyaux Linard, les fabriques centrales ont préféré s'établir au bord des chemins de fer et des canaux, les transports de betteraves rayonnant à courtes distances autour des râperies.

Enfin, l'une des conditions de première nécessité à remplir, est le voisinage immédiat d'une grande quantité d'eau que l'on devra soumettre à l'analyse pour s'assurer de son degré de pureté, s'il n'est pas déjà connu. De la qualité de l'eau dépend souvent le succès des opérations dans la fabrique, comme nous l'avons souvent répété, et de sa quantité le degré de pureté dans lequel on pourra maintenir l'usine, ce qui est de première utilité pour éviter les fermentations.

Enfin la quantité d'eau dont on dispose réglera aussi le mode de travail que l'on devra adopter pour la diffusion. La question de l'eau est donc une question grave, de premier ordre, et sans laquelle une usine ne peut exister.

Quand on a choisi la contrée où l'on veut établir la fabrique, il faut, avant toutes choses, assurer une première portion de son approvisionnement en betteraves, et pour cela passer des marchés avec les cultivateurs voisins, jusqu'à concurrence du tiers au moins de l'approvisionnement total de l'usine, se fiant aux chances de l'avenir et aux petits intérêts particuliers de chacun pour combler le déficit.

Le marché passé avec les cultivateurs doit spécifier exactement tous les points faibles du traité, car les contestations amènent parfois des procès qu'évite un écrit bien conçu.

Achat de la betterave au poids.

Nous donnons ici le modèle d'un marché pour l'achat de la betterave au poids.

ENTRE LES SOUSSIGNÉS :

M. X..., cultivateur à _____ d'une part :

Et M. Y..., agissant comme mandataire d'une Société, ayant pour but de provoquer l'établissement sur le territoire de _____, d'une fabrique de sucre dont l'emplacement sera ultérieurement choisi, d'autre part :

A été fait et convenu ce qui suit :

ARTICLE 1^{er}. M. X... s'engage à ensemercer en betteraves à sucres à partir de l'avis qui lui en sera donné par la Société, et pendant 12 années consécutives, la quantité de _____ hectares _____, dans les terres qu'il cultive, et à livrer au dépôt de l'usine toute sa récolte de cette nature.

Toutefois, il est entendu que pour les terres dont les baux se termineraient avant 12 ans, le présent engagement finira avec eux.

Au cas de renouvellement de bail, le cultivateur sera tenu de continuer ses fournitures selon le présent engagement, jusqu'à concurrence de 12 années, mais au cas où il verrait réduire une partie de son exploitation, il ne serait tenu de fournir qu'un nombre d'hectares proportionnels aux terres qu'il cultiverait,

eu égard au nombre d'hectares qu'il cultive aujourd'hui et au nombre de ceux qu'il s'engage par le présent à cultiver en betteraves.

M. X... s'engage aussi à livrer à l'usine de toutes les betteraves qu'il ensencera sur une quantité supplémentaire de terrains, aux conditions du présent marché.

De son côté, la Société prendra ce supplément aux mêmes conditions, pourvu, toutefois, que la déclaration de ce supplément soit faite avant le 15 mai.

Le cultivateur devra justifier de la contenance ensencée en betterave par un arpentage qui serait fait et remis à l'usine, avant le 15 mai de chaque année.

M. X... s'interdit de livrer des betteraves à d'autres usines, à moins de refus de celle de

ART. 2. Toute la graine de betterave destinée à l'ensemencement, sera fournie par l'usine à son prix de revient ; les betteraves provenant de graines étrangères pourront être refusées. Cette graine sera celle de la betterave à sucre de

Il est expressément interdit d'effeuiller les betteraves ou de les laisser effeuiller avant l'arrachage.

L'arrachage sera fait à la bêche, de manière à éviter, autant que possible, une détérioration qui nuirait beaucoup à la conservation.

Les betteraves seront, au moment de la livraison, saines, aussi nettes de terre que possible, sans lavage, le collet coupé à plat immédiatement au-dessous des premières folioles.

Les betteraves bouteuses et demi-bouteuses, creuses, pourries, gelées ou altérées par une cause quelconque, seront refusées et ne devront pas être livrées.

Les betteraves devront provenir exclusivement de bonnes terres, et tenues en bon état de culture. La culture de la betterave est interdite par le présent dans les terrains humides et marécageux, ou exposés à être inondés pendant la maturation, la betterave qu'ils produisent étant impropre à la fabrication du sucre ; il en sera de même des terres provenant des bois défrichés depuis moins de quinze ans.

Il est également spécifié que les betteraves ne seront pas mises directement sur un parcage de moutons, ni sur un défrichement de luzerne, ni sur engrais humain.

Au fur et à mesure de l'arrachage, le cultivateur, dans un intérêt commun, fera mettre les betteraves en petits tas, que l'on recouvrira de feuilles pour préserver la racine de l'action du soleil ou de la gelée.

Si le cultivateur conserve des betteraves dans ses terres, les tas ou silos n'auront pas plus de 1^m,30 de hauteur, une hauteur plus forte amenant facilement l'échauffement des betteraves. Pour la même raison, cette mise en tas n'aura pas lieu avant le 20 octobre.

ART. 3. Les betteraves cultivées par M... seront livrées à la bascule de l'usine, n° à , pesées et déposées à

Le dépôt ne devra pas être éloigné de plus de 10 kilomètres des terres cultivées par M. X...

La livraison des betteraves commencera suivant l'avis de l'usine ; elle se continuera au fur et à mesure des besoins journaliers de l'usine qui devra toujours être alimentée. Il ne sera livré qu'une moitié de la récolte avant le 25 octobre. A partir de cette époque la livraison sera libre. Elle devra être terminée avant la fin de la fabrication.

Le cultivateur pourra livrer avant le 1^{er} octobre jusqu'à concurrence du quart de la récolte.

Les betteraves livrées parfaitement saines et mûres, avant le 1^{er} octobre et après le 1^{er} décembre, donneront droit à un supplément de 50 centimes par 1.000 kilogrammes.

ART. 4. Le cultivateur pourra reprendre à l'usine la quantité de pulpe à laquelle sa livraison lui donnera droit, soit dans la proportion de 20 0/0 du poids de la betterave fournie, et cela pendant la fabrication seulement, au fur et à mesure de la production, et à la condition de la faire consommer chez lui par ses bestiaux. La pulpe ne peut être revendue par le cultivateur sous peine de lui être comptée à prix double.

Afin d'éviter à l'usine les frais d'emmagasinage, les enlèvements de pulpe devront être effectués dans les quatre jours de l'avis donné par l'usine sur simple lettre ; à défaut d'enlèvement dans les conditions indiquées, le bénéficiaire sera déchu de tous ses droits à cette fourniture, et la Société pourra disposer de ces pulpes à sa volonté.

La pulpe ensilotée par l'usine sera payée par les fournisseurs de betterave, 12 francs par 1.000 kilogrammes.

ART. 5. Les betteraves seront payées sur le poids net au prix de francs
les 1.000 kilogrammes rendus au dépôt.

Les pulpes prises à l'usine seront comptées à raison de 10 francs les 1.000 kilogrammes, et le montant en sera défalqué du produit des betteraves. Il en sera de même pour le prix de la graine qui lui aura été fournie.

Le prix des betteraves livrées sera payé en espèces, en trois termes :

Le premier paiement aura lieu le 15 novembre.

Le deuxième — — 15 janvier.

Le troisième — — fin février.

ART. 6. En cas de désaccord entre les parties, il est expressément convenu qu'il sera choisi deux arbitres désignés l'un par le gérant de la Société, ou son fondé de pouvoir, l'autre par le producteur de betterave, qui devront trancher la question.

Si les deux arbitres ne peuvent s'entendre, ils désigneront un tiers arbitre qui se joindra à eux pour vider le différend. Enfin, dans le cas où ils ne seraient pas d'accord sur le choix de ce tiers arbitre, il sera désigné par le juge de paix du canton.

Dans tous les cas, la décision des arbitres sera définitive et sans appel.

ART. 7. *Article additionnel. — Conditions résolutoires.* — Si pour le 1^{er} septembre de l'année , le gérant de la société n'a pas officiellement avisé MM. les cultivateurs de la constitution définitive de la société, le présent marché restera nul et non avenue sans indemnité.

Comme dans le cas où M. Y... ne pourrait réunir d'ici à cette époque un ensemble de terrains formant un total d'au moins hectare, le présent marché pourra être déclaré comme résolu, sans indemnité de la part de la société ni du cultivateur.

Dans le cas où l'usine, pour une cause quelconque, cesserait de fonctionner pendant le cours du présent, la société serait tenue d'informer le cultivateur soussigné de la résiliation de son engagement, avant 1^{er} janvier de l'année qui suit la dernière fabrication, et le présent marché serait annulé de plein droit sans indemnité.

Fait double, pour être exécuté de bonne foi entre les parties.

A le 19 .

Ce contrat a été fait pour le cas d'achat de la betterave au poids.

Achat de la betterave à la densité.

Aujourd'hui que les tendances générales sont à l'achat de la betterave à la densité, l'article 5 doit être modifié en conséquence.

Voici comment le Cercle des fabricants de Péronne avait résolu la question (en 1882) :

1^o Le prix convenu sera acquis, sans augmentation ni diminution, aux betteraves dont le jus marquera sans addition d'eau une densité comprise entre 5,3 et 5,7 (1.053 et 1.057) inclus. Il s'appliquera ainsi indistinctement au point de l'échelle 5,5, qui est considéré comme type, et aux deux dixièmes qui arrivent immédiatement au-dessous et au-dessus;

2^o Si la densité est inférieure à 5^o,3, il y aura une réduction de 2 0/0 sur le prix ou sur le poids par dixièmes en moins jusqu'au degré 5 inclus. Au-dessous de 5 et jusqu'à 4^o,5 inclus la réduction sera de 3 0/0 par dixièmes.

Au-dessous de 4^o,5 et jusque 4^o inclus, la réduction sera de 5 0/0 par dixièmes. Les betteraves dont le jus aurait une densité inférieure à 4^o, pourront être refusées comme impropres à la fabrication;

3^o Les betteraves dont le jus accusera une densité plus grande que 5^o,7, obtiendront une surpaie de 2 0/0 jusqu'à 6^o inclus.

Si la densité est plus grande que 6, la betterave sera surpayée de 3 0/0 pour chaque dixième en plus indéfiniment.

Dans l'Oise, les traités étaient ainsi formulés,

Base 5^o,5 avec écart de 5^o,3, à 5^o,7, à 15^o centigrades de température.

Si la densité du jus est plus petite que 5°,3, il y aura réduction de 50 c. par dixième de degré en moins jusqu'à 5° inclus. La réduction sera de 70 centimes par dixième de degré au-dessous de 5. Les betteraves dont les jus auront une densité inférieure à 4°,5 pourront être refusées. Si la densité du jus est plus grande que 5°,7, il y aura augmentation de 40 centimes par dixième de degré en plus. Les fractions de dixième ne seront pas comptées.

Le Comité central des fabricants de sucre avait pris la même base de 5°,5 avec 2 0/0 de réfaction par dixième de degré, depuis 5°,4 jusqu'à 5 et 4 0/0 de 4°,9 à 4°,5, limite inférieure; 2 0/0 de bonification au-dessus de 5°,5 par dixième.

A Valenciennes et Avesnes, la base était toujours 5°,5. Au-dessous de 5°, tare de 4 0/0 par dixième, et de 5°,6 à 6°, bonification de 10 0/0 sur le prix. Au-dessus de 6°, bonification de 20 0/0.

Il n'y a pas de tableau officiellement reçu indiquant la valeur réelle de la betterave au degré, et l'accroissement positif et négatif de sa valeur avec la densité; seulement les comités sucriers se sont entendus pour admettre une série de prix moyens.

Le Cercle des fabricants de sucre de Péronne avait adopté le tableau ci-après qui donne le rendement par 100 kilogrammes de betteraves, aux divers degrés du densimètre, rendement d'après lequel on calculait le prix de la betterave.

Tableau de corrélation entre la densité et la richesse des jus.

DEGRÉ	SUCRE par 100 kilogrammes de betteraves	RENDEMENT par 100 kilogrammes de betteraves	DEGRÉ	SUCRE par 100 kilogrammes de betteraves	RENDEMENT par 100 kilogrammes de betteraves
4° 0	6.669	3.664	5°, 6	10.441	6.538
1	6.912	3.815	7	10.678	6.731
2	7.150	3.986	8	10.901	6.907
3	7.367	4.143	9	11.133	7.089
4	7.612	4.324	6°, 0	11.242	7.195
5	7.846	4.500	1	11.482	7.385
6	8.085	4.676	2	11.708	7.568
7	8.331	4.805	3	11.944	7.759
8	8.580	5.058	4	12.087	7.890
9	8.821	5.243	5	12.420	8.147
50	9.076	5.446	6	12.597	8.263
1	9.319	5.643	7	12.783	8.384
2	9.580	5.865	8	12.953	8.496
3	9.729	5.993	9	13.143	8.622
4	9.967	6.179	7°, 0	13.308	9.729
5	10.220	6.377			

Mais depuis que ce tableau a été publié, la qualité de la betterave a augmenté considérablement, grâce à la loi de 1884, aussi donne-t-il des

chiffres trop bas. Voici celui qui a été donné depuis et que l'on trouve dans l'Agenda Gallois et Dupont, et qui semble dressé d'après la méthode Pagnoul que nous donnons plus loin.

DENSITÉ	SUCRE 0/0 cent. cubes	SUCRE pour 1° de densité	DENSITÉ	SUCRE 0 0 cent. cubes	SUCRE pour 1° de densité
4°, 0	7 5	1.87	7°, 0	15.7	2.24
1	7 8	1.90	1	15.9	2.24
2	8.0	1.90	2	16 2	2.25
3	8 2	1.90	3	16 5	2.26
4	8.5	1.92	4	16.7	2.26
5	8 8	1.95	5	16.9	2.26
6	9.1	1.97	6	17.2	2.26
7	9.4	2	7	17.4	2.26
8	9 6	2	8	17.7	2.26
9	9.9	2.02	9	17.9	2.26
5°, 0	10.3	2.06	8, 0	18 1	2.26
1	10.6	2.07	1	18.4	2.27
2	10.9	2.09	2	18 6	2.27
3	11.2	2.11	3	18.9	2.28
4	11 5	2.13	4	19.1	2.28
5	11.9	2.16	5	19.4	2.28
6	12.1	2.16	6	19.7	2.29
7	12 4	2.17	7	19.9	2.29
8	12.7	2.19	8	20.2	2.30
9	12 9	2.19	9	20.5	2.30
6°, 0	13.2	2.20	9°, 0	20.7	2.30
1	13.4	2.20	1	21.0	2.30
2	13.7	2.20	2	21 2	2.31
3	13.9	2.20	3	21.5	2.31
4	14.1	2.20	4	21.7	2.31
5	14.4	2.21	5	22.0	2.31
6	14.6	2.21	6	22.2	2.31
7	14.9	2.22	7	22.5	2.31
8	15.2	2.23	8	22.8	2.31
9	15.4	2.23	9	23.1	2.31

D'autre part Pagnoul, en 1886, a publié le résultat de près de onze cents analyses de betteraves faites à la Station agronomique du Pas-de-Calais et ses chiffres sont à peu près d'accord avec ceux du tableau précédent. Il a dressé la table suivante qui indique les résultats comparés de toutes ses analyses, en ajoutant à combien d'essais correspondent ses chiffres qui en sont les moyennes, la quatrième colonne correspondant à la seconde du tableau précédent. Elle est intitulée *moyennes corrigées*. En effet on remarque qu'entre 5,1 et 6,6 de densité les chiffres sont à peu près concordants avec ceux de la colonne précédente qui sont ceux trouvés au laboratoire. En faisant la courbe correspondante entre ces deux limites, on la trouve très régulière. Pagnoul l'a prolongée par ses deux extrémités et a corrigé les nombres trouvés par ceux de la courbe. Ce qui prouve que le tableau n'est vrai que pour la moyenne de beaucoup d'analyses, et se trouve souvent en défaut dans la pratique. Pagnoul conclut donc que l'achat à la densité n'est exact que pour les grosses

Relations moyennes entre la densité, la richesse et la pureté de la betterave, par Pagnoul.

DENSITÉ	NOMBRE d'analyses effectuées	SUCRE par décilitre Moyennes trouvées	SUCRE par décilitre Moyennes corrigées	SUCRE d'une dissolution pure	NON SUCRE du jus	PURETÉ	COEFFICIENT pour avoir sucre par déclit.	SUCRE P. 100 de betteraves en poids.
4.1	0		7.5	10.6	3.1	71	1.83	6.9
4.2	0		7.8	10.9	3.1	72	1.85	7.1
4.3	0		8.1	11.1	3.0	73	1.88	7.4
4.4	3	8.4	8.4	11.4	3.0	74	1.91	7.7
4.5	3	8.9	8.7	11.7	3.0	75	1.93	7.9
4.6	3	9.2	8.9	11.9	3.0	75	1.94	8.1
4.7	4	9.2	9.3	12.2	2.9	76	1.98	8.4
4.8	5	10.0	9.6	12.4	2.8	77	2.00	8.7
4.9	11	9.9	9.9	12.7	2.8	78	2.02	9.0
5.0	15	10.3	10.3	13.0	2.7	79	2.06	9.3
5.1	38	10.4	10.6	13.2	2.6	80	2.07	9.5
5.2	43	10.9	10.9	13.5	2.6	80	2.09	9.8
5.3	48	11.2	11.2	13.7	2.5	81	2.11	10.1
5.4	52	11.4	11.5	14.0	2.5	82	2.13	10.3
5.5	82	11.9	11.9	14.3	2.4	83	2.16	10.7
5.6	72	12.1	12.1	14.5	2.4	83	2.16	11.0
5.7	70	12.4	12.4	14.8	2.4	84	2.17	11.1
5.8	74	12.7	12.7	15.1	2.4	84	2.19	11.4
5.9	72	13.0	12.9	15.3	2.4	84	2.19	11.6
6.0	76	13.2	13.2	15.6	2.4	85	2.20	11.8
6.1	67	13.4	13.4	15.8	2.4	85	2.20	12.0
6.2	65	13.7	13.7	16.1	2.4	85	2.20	12.2
6.3	63	13.9	13.9	16.4	2.5	85	2.20	12.4
6.4	54	14.1	14.1	16.6	2.5	85	2.20	12.6
6.5	28	14.4	14.4	16.9	2.5	85	2.21	12.8
6.6	22	14.6	14.6	17.1	2.5	85	2.21	13.0
6.7	9	14.7	14.9	17.4	2.5	86	2.22	13.2
6.8	16	14.8	15.2	17.7	2.5	86	2.23	13.6
6.9	17	15.0	15.4	17.9	2.5	86	2.23	13.8
7.0	7	15.3	15.7	18.2	2.5	86	2.24	13.9
7.1	5	15.5	15.9	18.4	2.5	86	2.24	14.1
7.2	4	15.2	16.2	18.7	2.5	87	2.25	14.3
7.3	8	15.8	16.5	19.0	2.5	87	2.26	14.5
7.4	4	16.2	16.7	19.2	2.5	87	2.26	14.7
7.5	4	16.8	16.9	19.5	2.6	87	2.26	14.9
7.6	1	15.5	17.2	19.8	2.6	87	2.26	15.1
7.7	1	16.8	17.4	20.0	2.6	87	2.26	15.3
7.8	0		17.7	20.3	2.6	87	2.26	15.5
7.9	1	18.4	17.9	20.5	2.6	87	2.26	15.7
8.0	1	17.9	18.1	20.8	2.7	87	2.26	15.9
8.1	1	18.8	18.4	21.1	2.7	87	2.27	16.1
8.2	1	19.6	18.6	21.3	2.7	87	2.27	16.3
8.3	0		18.9	21.6	2.7	87	2.28	16.5
8.4	2	18.1	19.1	21.8	2.7	88	2.28	16.7
8.5	1	17.3	19.4	22.1	2.7	88	2.28	17.0
8.6	1	18.8	19.7	22.4	2.7	88	2.29	17.2
8.7	1	19.1	19.9	22.6	2.7	88	2.29	17.4
8.8	2	19.8	20.2	22.9	2.7	89	2.29	17.6

livraisons. Mais pour les cas isolés de petits lots de betteraves la densité peut tromper beaucoup acheteurs et vendeurs.

Enfin l'avant-dernière colonne montre que le chiffre 2 adopté comme coefficient par lequel on multiplie la densité pour avoir la teneur en sucre approximative de la betterave n'est exact que dans une très faible limite. Ce coefficient varie de 1,83 à 2,29.

L'achat à la densité du jus, comme nous l'avons vu précédemment, étant le seul qui soit équitable et pratique, il est à désirer que tous les fabricants et cultivateurs s'y conforment, car chacun d'eux y trouvera son bien, le fabricant parce qu'il achètera la racine à sa vraie valeur, et le cultivateur parce que, par une bonne culture, il parviendra à obtenir des betteraves riches et à gros rendement, comme nous le verrons plus tard. On a calculé, en effet, que la culture de la betterave riche était fort rémunératrice pour le fermier. Voici comment Woussen établit ce calcul : Un champ, cultivé par les procédés de fumure et d'écartement rationnels, fournissant par exemple 25,000 kilogrammes de betteraves dont le jus a une densité de 5°,75, le fabricant paie la betterave 20 francs pour 5°, avec augmentation de 1 franc par quart de degrés. La betterave ci-dessus revient donc à 23 francs, soit les 25.000 kilogrammes à 575 francs.

Un champ de même dimension cultivé par les procédés anciens, n'aurait donné que 20,000 kilogrammes, le jus ne marquant que 4°,50 ; le fabricant payant ces betteraves 18 francs quelle que soit la richesse, les 20.000 kilogrammes ne lui coûtent que 360 francs, ce qui est un grand déficit pour le cultivateur.

Laquelle des deux racines est la plus avantageuse pour le fabricant ? celle à 23 francs ou celle à 18 francs, soit un écart de 5 francs entre les deux ? On sait qu'à 1 degré de différence correspond à peu près une différence de 2 % dans le rendement en sucre de la betterave. Avec la betterave à 5°,75 on fait donc 25 kilogrammes de sucre de plus qu'avec celle à 4°. Donc, en payant 5 francs de plus, le fabricant gagne 15 francs, différence : 10 francs au bénéfice du fabricant, et 215 à celui du cultivateur.

Pour arriver à un pareil résultat, il faut cultiver la betterave avec méthode et science, et nous allons passer en revue les principales notions indispensables à savoir pour contrôler un travail. Non pas que par la lecture de ces quelques lignes, je le répète, on devienne un agronome, car la pratique seule vous mène à ce résultat ; mais quand on est fabricant et que l'on a déjà quelque peu l'habitude des choses, quelques observations sont utiles pour éclairer la véritable route du progrès, dont on ne doit pas s'écarter.

§ 2. — Terre à betterave.

La betterave, par son volume et la longueur de sa racine, demande une terre meuble naturellement, profonde et nutritive. Les terrains argilo-calcaire, en général, sont les plus propices à son développement ; ceux où le sable et le calcaire se trouvent associés, s'ils sont chargés

d'une quantité assez considérable d'humus, donnent aussi de bonnes racines ; c'est qu'en effet ces terrains sont légers et faciles à travailler.

Outre la qualité du sol, nous trouvons celle du sous-sol qui doit être suffisamment perméable pour que l'humidité ne puisse pas séjourner outre mesure autour des racines, ce qui les pourrirait infailliblement. Dans le cas où cette dernière condition ne serait pas remplie, on a parfois recours au drainage ; mais cette opération étant d'un prix élevé, il est préférable de n'adopter comme terre à betterave que celle qui répond réellement aux données précédentes. Une autre condition, précisée d'ailleurs dans les contrats, est que les terres à betteraves ne doivent pas être placées dans les bas-fonds humides et marécageux ; la betterave y pousse très chargée d'eau, de sels et peu sucrée.

Plus la terre est découverte et plus sucrée pousse la racine ; mais ici se trouve un autre écueil. Dans un lieu découvert, la terre est toujours sèche, le soleil toujours ardent, la betterave y viendra donc fort riche, mais non rémunératrice pour le cultivateur.

Un terrain placé dans un site moyen, bien aéré, bien arrosé, où le soleil a libre accès, et abrité des vents secs du nord, est le lieu le plus propice à la culture de la betterave.

D'ailleurs, il faut pour que la betterave pousse bien, qu'elle ait une certaine dose de chaleur. On a remarqué qu'il semble qu'on obtienne de bonnes betteraves à sucre dans tous les pays où la somme des températures quotidiennes pendant tout le temps du séjour de la betterave dans la terre, atteint environ 3,100° centigrades. Quand il y en a moins, la betterave est pauvre. Voici, par exemple, la somme des températures quotidiennes de chaque mois dans une année moyenne :

Avril	225°
Mai	475
Juin	555
Juillet.	560
Août	562
Septembre	442
Octobre	269
	3,088

dont le total correspond au nombre proposé.

Mais les terres, tout en ayant la composition dont nous avons parlé plus haut, sont tenues de répondre à d'autres conditions : elles ne doivent pas contenir de matières nuisibles à la croissance du sucre dans la betterave, et pour cela leur destination ou leur culture préalable, leur engrais ou leur constitution géologique particulière doivent être observés avec soin. Une luzerne défrichée, un parcage de moutons ré-

cent, un bois arraché depuis moins de quinze ans, le voisinage de marais salants, des terrains volcaniques ou salpêtrés, contiennent des éléments chimiques qui, absorbés par la betterave, les rendent impropres à la fabrication du sucre.

Quant à fixer par l'analyse si un terrain est propre ou non à la culture de la betterave à sucre, le problème est trop complexe pour que l'on puisse répondre absolument à la question ; la position climaterique du terrain, le sous-sol à différentes profondeurs, les quantités de chaleur et d'humidité qui peuvent affluer en cet endroit, mille conditions enfin que l'homme pratique seul peut juger, sont autant d'éléments qui en diront plus que la chimie. Cependant, par l'analyse, on peut fixer approximativement les quantités d'engrais nécessaires à un sol choisi, ou bien s'il ne domine pas dans le champ quelque élément salin nuisible. Quoi qu'il en soit, le meilleur moyen de s'assurer si un champ est propice à la culture de la betterave, et le seul qui soit recommandable, est de semer et de récolter de la betterave en différents points et avec différentes espèces de graines et d'engrais, et de voir si les racines sont riches ou pauvres.

Cependant on peut classer les terres à l'analyse de la manière suivante ; on appellera :

Terres sablonneuses celles qui contiendront. . .	90	0/0	de sable.
— argileuses celles qui contiendront.	60		d'argile et plus.
— grasses celles qui contiendront moins de . . .	60		—
— sablonneuses à base de glaise celles qui contiendront	30		— au plus.
— glaiseuses à base de sable celles qui contiendront	20		— —

Les trois dernières ont beaucoup de chance pour être de bonnes terres à betteraves, devant être plus ou moins amendées ou engraisées.

Voici, d'ailleurs, quelques analyses de terres propres à la culture de la betterave à sucre :

Analyses de quelques terres à betterave.

	TERRES ALLEMANDES		RUSSES	SELON GROUËN	SOL, SOUS-SOL.	
Sable	866.4	770.8	937.0	»	»	»
Argile	195.4	99.2	»	114.88	66.0	40.0
Matière minérale soluble	48.5	34.4	»	70.37	53.0	38.0
Potasse	11.83	2.33	6.0	2.10	»	»
Soude	10.14	0.60	5.0	1.39	»	»
Chaux	31.42	4.09	10.0	18.06	2.95	18.90
Magnésie	10.16	0.69	5.0	3.26	»	»
Oxyde de fer	39.59	22.10	60.0	53.69	»	»
— de manganèse	1.72	0.25	»	0.36	»	»
Alumino	60.47	26.08	15.0	1.66	»	»
Acide sulfurique	1.64	0.29	0.9	»	0.67	0.63
— phosphorique	1.50	0.31	2.0	»	»	»
— silicique	68.75	17.49	»	»	2.50	18.00
— carbonique	20.59	0.10	»	»	»	»
Chlore [.	0.799	0.007	0.1	0.05	»	»
Azote total	1.258	0.780	»	1.55	0.99	0.58

On voit leur teneur très variable en calcaire et la diversité du rapport de leurs éléments. C'est qu'en effet il ne peut rien y avoir de constant dans la composition d'une terre ; seulement, pour que cette terre puisse fournir de la betterave, il y a des conditions indispensables. Ainsi, selon G. Ville, 40.000 kilogrammes de betteraves, soit la culture d'un hectare de terre, enlève au sol 184 kilogrammes de potasse ; il faut donc que le sol contienne une quantité de potasse beaucoup plus forte que celle-ci, pour donner une bonne récolte. Nous y ajouterons que ces 40.000 kilogrammes de betteraves absorbent environ 120 kilogrammes d'azote à la terre, sans compter celui que les feuilles absorbent à l'air. Voici, d'ailleurs, des nombres indiquant la quantité de matière minérale enlevée par la récolte de betteraves, tant en feuille qu'en racine :

	Kilogrammes.
Potasse	200
Soude	44
Acide phosphorique	50
Chaux	36
Magnésie	24
Acide sulfurique	12
Chlore	20
Silice	50

§ 3. — Engrais.

GÉNÉRALITÉS. — On doit donc donner à la terre l'engrais qui lui convient le mieux, eu égard à la composition de la betterave et à la quantité des éléments qui lui manquent pour cette culture. C'est ainsi qu'une terre, par exemple, très chargée en acide phosphorique, n'aura pas besoin de cet élément dans l'engrais qu'on lui appliquera. De même, si l'on veut cultiver de la betterave, on ne devra pas appliquer le même engrais que pour toute autre culture. Il est donc nécessaire de savoir exactement la nature des éléments à introduire dans le compost qu'on appliquera à la betterave. Or, il n'est pas indifférent d'appliquer ces différents éléments en combinaison quelconque. Comment, par exemple, l'azote devra-t-il être donné à la racine ? A l'état de matière organique, à l'état de nitrate ou à celui de sel ammoniacal ? Tel a été le but de nombreuses recherches qui ont modifié considérablement le mode de culture de la betterave. En effet, suivant que l'on applique un engrais organique ou un engrais chimique, le mode d'opérer est essentiellement différent.

G. Ville, qui débuta dans la voie des engrais chimiques, composait ainsi un engrais complet destiné à des essais comparatifs.

	Kilogrammes.
Par are : Phosphate de chaux	4
Carbonate de potasse	4
Chaux caustique	1,500
Nitrate de soude	5,600
Contenant 0,80 à 0,85 d'azote	

En faisant sur six lots de terre différents, des essais avec l'engrais complet, ou bien diminué d'un ou deux éléments, on voyait lequel donnait la meilleure récolte, et l'on en déduisait la nature de l'engrais qu'il fallait appliquer. Il avait alors les six champs suivants :

ENGRAIS	1 ^{er} lot	2 ^e lot	3 ^e lot	4 ^e lot	5 ^e lot	6 ^e lot
Phosphate de chaux	4	4	»	»	»	4
Carbonate de potasse	4	4	»	»	4	4
Chaux	1.500	1.500	»	1.500	1.500	»
Nitrate de soude	5.600	»	5.600	5.600	5.600	1.600

Un septième lot ne recevait aucun engrais. Celui des sept lots qui donnait la récolte la meilleure indiquait dans quel sens on devait appli-

quer l'engrais. C'est le mode rationnel, meilleur que tout essai analytique, de savoir quelle culture est préférable à tel ou tel terrain.

Ce genre d'essai porta de très bons fruits, car il permit d'étudier plus à fond les matières propres ou impropres à la génération du sucre. Ainsi il fit rejeter l'emploi des nitrates seuls, des engrais humains ou flamands, des parages de mouton, comme poussant à la grosseur des racines à l'exclusion du sucre. On a conclu de là diverses formules d'engrais complet rationnel, pour la culture de la betterave. L'une des dernières conclusions auxquelles soit arrivé Ladureau, chimiste à la station agronomique du Nord, est la suivante :

Azote ammoniacal	4,00 0/0	} 6,80 0/0
— organique	2,80	
Acide phosphorique assimilable		8,40
Potasse		5,00

Il faut donc choisir, parmi tous les engrais que l'on a sous la main, ceux qui réunissent un ou plusieurs de ces éléments, et les associer pour obtenir un total de matière fertilisante analogue au précédent.

FUMIER

Parmi les engrais les plus répandus, le fumier de ferme est un de ceux que l'on doit le moins négliger. La tendance que l'on a d'user des engrais chimiques à l'exclusion de tout autre fait oublier l'action bienfaisante des fumiers. On ne doit jamais craindre d'en trop mettre, car rarement on en met assez, et l'excès, s'il existait, agirait sur les années suivantes. De plus, la paille qu'ils contiennent, retournée dans le sol, augmente la légèreté, la division, la perméabilité à l'humidité et aux radicules de la betterave, et est ainsi sur la récolte, dans toutes ses parties, d'un effet très bienfaisant.

Le fumier de ferme ordinaire contient en moyenne 4 millièmes d'azote. On l'emploie pour la culture des céréales à la dose de 10.000 kilogrammes à l'hectare par année, soit 40 kilogrammes d'azote par an et par hectare, selon Boussingault et Payen. Dehérain va jusqu'à 6 millièmes pour le fumier frais, non débarrassé de son purin.

Le purin, ou jus de fumier, aurait suivant G. Ville, la composition :

Eau	974,00
Azote	1,13
Potasse	6,00
Chaux	0,04
Substance organique	18,83
	<hr/>
	1000,00

L'analyse complète d'un fumier a fourni les nombres suivants :

Eau	79,300	
Oxygène	5,341	
Carbone	7,411	
Hydrogène	0,869	
Azote	0,414	
	<hr/>	
Soit en matière organique	93,335	93,335
Acide carbonique	0,133	
— phosphorique	0,200	
— sulfurique	0,127	
Chlore	0,040	
Chaux, magnésie	0,813	
Silice	4,425	
Potasse et soude	0,520	
Oxydes métalliques	0,407	
	<hr/>	
Soit en matière minérale	6,665	6,665
		<hr/>
		100,000

Un mètre cube de bon fumier pèse 500 kilogrammes. On voit donc que si l'on voulait donner uniquement en fumier à la terre la quantité d'azote nécessaire à la betterave, il faudrait répandre sur les champs 30.000 kilogrammes de fumier, comme on le fait dans le Nord, soit trois fois plus que pour le blé, c'est-à-dire 60 mètres cubes.

Dehérain définit l'*engrais* la matière utile à la plante qui manque au sol, et les *amendements* sont plus particulièrement constitués par les matières qu'on ajoute au sol, pour lui rendre sa fertilité, en lui restituant les éléments que lui ont enlevés les récoltes.

Si l'on considère comme type le fumier de ferme que l'on prendra pour unité, contenant, selon Boussingault et Payen, $\frac{4}{1000}$ d'azote, si l'on admet une fumure annuelle de 10.000 kilogrammes de ce fumier, soit 40 kilogrammes d'azote, la quantité de matière organique équivalente à 40 kilogrammes d'azote dans tout autre engrais sera considérée comme l'*équivalent* de l'engrais. On peut dire encore que si 100 est l'équivalent du fumier de ferme, l'équivalent d'un engrais est donné par la proportion :

$$\frac{100}{0,4} = \frac{x}{a}$$

a étant l'azote pour 100 de l'engrais.

Selon Gasparin, un engrais vaut 1 fr. 50 à 2 francs par kilogramme d'azote.

0,50 à 0,60 par kilogramme de phosphate tribasique.

Depuis on a établi comme suit le prix des engrais.

Les nodules à 40 0/0 de phosphate valent 5 fr. les 100 kilos, le kilogramme de phosphate vaudrait 0 fr. 12; on admet 0 fr. 15.

Le kilogramme d'azote vaudrait 2 francs, et le kilogramme de potasse 1 franc.

On voit que ces valeurs sont variables avec le cours du jour des engrais principaux.

Dehérain classe les engrais en :

- Engrais végétaux,
- animaux,
- végétaux et animaux ou mixtes (fumiers),
- minéraux,
- chimiques.

ENGRAIS VÉGÉTAUX

Parmi les engrais végétaux les plus usités dans nos cultures sont :

Trèfle retourné. — Boussingault trouve que la première coupe retournée donne 27,9 kilogrammes d'azote, correspondant à 4.950 kilogrammes de fumier.

La deuxième coupe, enfouie aussi, donnerait 42,3 kilogrammes d'azote total.

Luzerne. — Suivant Gasparin, les racines et débris enfouis donnent 296 kilogrammes d'azote correspondant à 49.350 kilogrammes de fumier; c'est donc un puissant producteur d'azote, ce qui explique pourquoi une récolte de betterave, faite sur une luzerne, pousse au poids et non à la qualité.

Lupin. — Ses fannes sèches fournissent 93k,5 d'azote = 15.600 kilogrammes de fumier.

Tourteaux. — Les tourteaux, fréquemment employés comme engrais, contiennent les éléments suivants :

	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE
Œillette	70.0	43.0
Arachide	60.7	6.0
Chênevis	62.0	41.0
Lin	60.0	23.0
Pavot blanc	60.0	40.6
Caméline	55.7	20.0
Sésame	55.7	15.0
Colza	55.5	21.0
Faines	45.0	10.0
Marc de raisin (desséché à l'air)	1.71 à 1.83	»
— de pommes à cidre (*)	0.59	»

(*) Trop acide; le mélanger à la chaux ou au fumier de ferme.

Humus. — Avant d'aller plus loin et de passer aux engrais animaux, nous devons parler d'une matière de première nécessité, provenant de la décomposition des engrais en général, végétaux et animaux, et qui doit toujours exister dans le sol en certaine quantité; c'est cette matière noire fertilisante que l'on nomme *humus*, et qui, à la lévigation, fournit l'humine dont nous avons déjà parlé dans nos préliminaires. C'est un hydrocarbure très complexe qui se rencontre dans toutes les décompositions noires des matières végétales, dans la tourbe, dans le sucre brûlé par les agents chimiques et par le feu. L'humus est d'une nature mal déterminée et représente sans doute une combinaison de matières organiques avec les éléments minéraux du sol, qui, sans lui, seraient incapables d'être absorbés par les végétaux. C'est au sein de cette matière noire que se passe tout le phénomène de la nutrition des plantes; le sol doit donc en être muni abondamment. Lorsque la terre végétale en contient beaucoup, on la nomme terreau, et l'on sait que c'est le terme maximum du sol fertile. La quantité d'humus est très variable dans les terrains, comme nous l'avons vu dans les analyses de terre citées précédemment.

Les phénomènes qui se passent au sein de l'humus comme causes de la nutrition des plantes ont été étudiés depuis 1883 par Berthelot.

Ce savant a découvert dans l'humus une série de microbes de l'ordre des bactéries, qui y vivent et ont la singulière propriété de fixer l'azote de l'atmosphère, aussi bien en présence des végétaux que sans le concours de ceux-ci.

Les légumineuses, qui poussent dans ces terres propices, ont la faculté d'attirer sur leurs racines ces microbes comme des parasites, et d'exalter leur génération. C'est ce qui explique pourquoi ces plantes engraisent les terrains où on les cultive. Après la coupe, si l'on retourne la terre en

y laissant les racines comme engrais, cette terre se trouve munie largement des microbes de la végétation, sont fort chargées de matières azotées par cette vie microbienne, et dès lors deviennent essentiellement fertiles.

Cette découverte a donné lieu à de nombreux travaux d'autres chercheurs, comme Helbrigel et Willfarth, et est devenue la base de toute une nouvelle théorie de la végétation que nous ne faisons que signaler, ne pouvant nous étendre plus longuement ici sur ce sujet si intéressant.

Une autre cause de la fixation de l'azote atmosphérique sur les plantes et sur les sols fertiles a été découverte par Berthelot; c'est l'action constante de l'électricité atmosphérique *silencieuse*.

On sait que l'étincelle électrique provoque la formation de nitrates aux dépens de l'azote de l'air. Berthelot a démontré dès 1876 que l'échange continu et invisible, l'échange silencieux du fluide électrique entre le sol et l'atmosphère produit le même effet.

Enfin Berthelot poursuivant ses études a reconnu que certains principes définis du sol sont doués de la propriété de se combiner avec l'oxygène de l'air et de le céder ensuite à des corps que cet oxygène n'oxydrait pas directement « phénomène lié à la fois avec les fermentations oxydantes et avec la fixation microbienne de l'azote. »

On voit combien la théorie de la végétation a fait de progrès depuis les travaux de Berthelot, et comme il est utile aux agriculteurs de connaître ces théories nouvelles qui leur ouvrent de larges horizons pour l'obtention du sol du maximum de culture réalisable.

Nous regrettons de ne pouvoir en dire plus long sur ce sujet qui forme l'objet d'un ouvrage considérable publié par Berthelot (1).

ENGRAIS ANIMAUX

Les engrais animaux sont formés par les déjections des animaux, les poudrettes, l'engrais flamand, les eaux vannes des fleuves près des grandes villes, etc.; les débris d'os, les débris d'équarissage, enfin toutes les matières qui se rattachent de loin ou de près aux animaux, rendent comme engrais des services signalés à l'agriculture.

Voici la composition comparée de plusieurs d'entre eux :

(1) BERTHELOT. — *Chimie végétale et agricole*, 4 volumes.

	AZOTE	ACIDE PHOSPHORIQUE	PRIX
			fr. c.
Engrais humain. (la tonne)	13.3	2.665	7 »
— flamand (pur) n° 1 . . . —	8.888	3.207	15 693
— — (de Lille) n° 2 . . . —	6.537	0.956	11 494
— — (du Quenoy) n° 3 . . . —	1.835	0.258	6 110
Poudrette de Bondy	15.2	4.18	»
Eaux vannes de Bondy	4.0	1.35	»
Engrais de Chodsko	4.20	4.48 etc.	»

L'engrais flamand est constitué de déjections humaines conservées dans des citernes ou réservoirs de 250 à 400 hectolitres où on les laisse fermenter ; il doit marquer 3° à l'aréomètre ; pour cela, on additionne ces matières plus ou moins d'eau.

L'engrais Chodsko provient de la précipitation des eaux vannes par le sulfate de magnésie et de fer ; 5 à 10 litres de solution concentrée des deux sels en parties égales pour 1 mètre cube d'eau vannes. On y ajoute un peu de carbonate de potasse, pour saturer les acides, et du goudron ou de la benzine.

Les débris d'os. — Les os, après dégraissage, contiennent environ 51/2 % d'azote.

Les criblures d'os, séparées avant la fabrication du noir, contiennent 4 0/0 d'azote et 40 0/0 de phosphate tribasique de chaux.

Les criblures d'os dégelatinisés contiennent : 1,5 0/0 d'azote et 50 0/0 de phosphate tribasique.

Les débris d'équarrissage. — Un cheval hors de service pèse environ 300 kilogrammes, selon Heuzé, représentés, par :

	Kilogrammos.
Chair.	160
Issues	41
Os	45
Sang	16
Peau	30
Graisse	4
Tendons	2
Sabots	2

300 dont 4,00 0/0 d'azote environ.

Les chairs renferment à l'état normal	3,25	—	—
Le sang	2,65 à 2,95	—	—

Dans les clos d'équarrissage, on sépare la peau, les os, les sabots, le sang si l'on peut ; le reste est mis dans une chaudière avec de l'eau et porté à l'ébullition. La graisse se sépare et nage, les chairs déchi-

quelées tombent au fond, le liquide se charge de toutes les matières solubles. On enlève la graisse, et le reste forme une bouillie infecte contenant 80 % d'eau et 2 % d'azote, de plus des matières salines, phosphates, chlorures, etc. Cette eau est employée dans les composts pour *animaliser*, comme on dit, des matières presque inertes.

Il y a un autre procédé qui consiste à ajouter au liquide $\frac{1}{5}$ ou $\frac{1}{6}$ du poids des débris d'animaux en acide chlorhydrique du commerce. Alors tout se dissout, chairs et os se fondent dans le liquide et donnent une masse beaucoup plus homogène et dont la graisse sort plus facilement. Enfin, l'industrie des engrais a imaginé de dessécher les chairs, de les concasser ensuite sous de lourdes roues de métal ou de pierre, puis de les mettre en tas avec toutes sortes d'autres matières animales, poils, pieds, etc. ; une fermentation lente s'établit ; on retourne alors le tas pour bien égaliser l'action qui peut durer trois ans. Au bout de ce temps, la masse a changé d'aspect, est devenue homogène et forme un engrais excellent, pulvérulent et très riche. L'opération se fait sous de vastes hangars en énormes tas de quatre ou cinq mètres de haut. Le retournage s'exécute en faisant avancer le tas, à la pelle, d'un bout à l'autre des hangars, de telle sorte que l'on charge à une extrémité les matières animales, et à l'autre on débite l'engrais. Cette fabrication nécessite un fonds de roulement considérable et donne d'excellents produits.

GUANOS

A la suite des engrais animaux, faisant transition avec les engrais minéraux, on peut placer les guanos, déjections anciennes d'oiseaux de mer que l'on trouve en divers lieux, par masses considérables.

Voici la composition de plusieurs guanos :

	Guanos du Pérou.		d'Afrique.
Sels ammoniacaux	18,30	15,93	9,50
— alcalins	14,90	7,60	6,90
Phosphate de chaux et de magnésie.	27,80	21,83	18,00
Oxalate de chaux	6,10	0,87	»
Silice, sable et matières terreuses	1,50	1,70	0,90
Humus et matières indéterminées	4,30	27,60	38,25
Eau et pertes	27,10	24,47	26,45
	100,00	100,00	100,00

Girardin et Bobierre considèrent 8 % comme la moyenne de la teneur en azote des guanos, en sorte que 500 kilogrammes de guano contiendront autant d'azote que 10.000 kilogrammes de fumier. C'est donc déjà

un engrais azoté des plus puissants ; mais, de plus, il contient des quantités considérables d'acide phosphorique qui se trouve dans des conditions excellentes d'assimilation ; enfin les sels alcalins y sont en grande quantité.

Le guano sera donc un engrais puissant, chaud, poussant à de grosses récoltes ; mais l'azote, le phosphore, les sels alcalins ne sont pas les seuls éléments qui composent les végétaux, la terre doit leur fournir des matières organiques qu'elle contient. Le guano est donc un engrais incomplet, auquel il faut adjoindre les matières organiques sans lesquelles on verrait en peu de temps une terre fertile tout à fait épuisée et impropre à toute végétation industrielle.

Le guano est une matière animale organisée, qui se décompose dans le sol et dont les éléments sont essentiellement assimilables par les végétaux. On a fait de nombreux essais pour fabriquer du guano artificiel, mais tous ces efforts ont été vains ; le guano naturel n'a jamais pu être imité dans ses actions végétatives. Bien plus, il semble que le sol du Pérou ait été privilégié, car de tous les points du globe où l'on a découvert du guano, celui du Pérou seul a été trouvé doué des propriétés fertilisantes exceptionnelles qui ont fait la réputation du guano des îles Chincha.

ENGRAIS MINÉRAUX

Les engrais minéraux sont empruntés à la terre sous forme de chaux de marnes, de phosphates naturels, de plâtre, etc. Le guano dont nous venons de parler, et le vieux noir d'os peuvent s'y rattacher, ainsi que les écumes de sucrerie, car leur composition est plutôt minérale qu'organique.

Les phosphates de chaux se trouvent dans la nature sous différentes formes : sous la forme animale, il constitue la partie la plus considérable des os ; sous la forme minérale, on le rencontre dans différentes roches appelées apatite ou chrysolithe, sous la forme de rognons ou nodules ; enfin sous celle de coprolithes ou excréments anciens d'animaux fossiles aujourd'hui, de coquilles fossiles, etc., et dans les guanos.

Enfin l'industrie métallurgique nous livre depuis un certain nombre d'années des quantités relativement considérables de phosphates sous le nom de « *scories de déphosphoration* ».

La richesse en phosphore de ces différentes sources d'acide phosphorique est très variable ; on en trouve de 8 à 60 %. On voit donc que l'on ne peut se fier qu'à l'analyse pour découvrir la vraie valeur d'un engrais phosphaté.

Voici l'analyse des nodules des environs de Lille (Rivot) :

Eau, acide carbonique	30,0
Argile	1,5
Chaux	50,0
Acide phosphorique	18,0
Oxyde de fer	traces.
Perte	0,5
	<hr/> 100,0

L'une des propriétés du phosphate de chaux est sa très grande dureté ; aussi a-t-on été obligé, pour le broyer, d'imaginer des moyens mécaniques très puissants tels que le broyeur Carr.

Le phosphate de chaux n'agit sur la végétation qu'autant qu'il est assimilable. Or, on remarque que ce phosphate minéral, broyé grossièrement et répandu dans un champ, est presque toujours inerte, surtout dans un champ calcaire, tandis que dans un sol granitique son effet est merveilleux. On remarque aussi que, associé à des matières en putréfaction ou en fermentation, il s'assimile facilement et reste inerte dans un milieu sec ; enfin, que plus finement il est pulvérisé, plus son effet est puissant. De tout cela on peut conclure son mode d'emploi : il faut qu'il se trouve en présence d'éléments organiques en décomposition puissante dans un sol ne contenant pas de chaux, ou bien dans un centre minéral qui le décompose. C'est ainsi que le noir animal épuisé devient rapidement un excellent engrais, aussi bien que la poudre d'os ; c'est aussi ce qui fait la supériorité des guanos sur les phosphates naturels.

Mais en dehors de toutes ces causes d'assimilation on rencontre quelques phosphates qui sont assimilables directement, tandis que les autres ne le deviennent que par les causes extérieures. Ceux qui appartiennent à la première catégorie et qui sont dits *phosphates assimilables*, jouissent de la propriété d'être solubles dans le citrate d'ammoniaque, tandis que les autres ne le sont pas. C'est à cette propriété que l'on se reportera lorsque l'on emploiera cette dénomination de phosphate assimilable.

Noir animal. — Le noir animal est rarement employé neuf dans l'agriculture, car sa valeur est trop élevée. On ne fait usage que de noir ayant déjà servi soit à l'état de noir en grain plus ou moins gros, soit à celui de poudre mêlée de sang et d'écumes ayant servi à la raffinerie. Le noir, pendant le travail de la sucrerie, perd de l'acide phosphorique et du gaz de l'azote, en sorte qu'un noir neuf ayant la composition :

Azote	1,31
Phosphate de chaux	73,63

Deviendra après une clarification :

Azote	1,96
Phosphate de chaux	64,60

Après une deuxième clarification :

Azote	3,59
Phosphate du chaux	46,00

On voit combien variera la composition du noir lorsqu'il arrivera à la consommation agricole.

Le noir fin de raffinerie sera beaucoup plus chargé encore en azote. On ne peut donc juger de la composition d'un noir qu'après analyse. Outre l'azote, les phosphates, le charbon, et les matières organiques, le noir contiendra des matières salines qu'il a absorbées, du carbonate de chaux, etc. C'est donc une matière phosphatée et azotée excellente à employer dans l'agriculture, car, à cause de sa composition complexe et sans doute de sa porosité et de sa constitution organique, son phosphate est facilement assimilable. Cependant, comme tous les phosphates, son emploi dans les terrains calcaires sera de peu d'effet.

Scories phosphatées. — Dans l'industrie de l'acier on décarbure des fontes dans les fours Thomas sur sole basique. Ces fontes contiennent une certaine quantité de phosphore qui se combine aux bases et forment des phosphates de chaux et de magnésie sous forme de scorie vitreuse.

On broie ces scories et l'on obtient ainsi d'excellents engrais portant des noms très divers : phosphate Thomas, scories de déphosphoration, phosphates métallurgiques, etc.

Ces scories contiennent de :

16 à 20 d'acide phosphorique
45 de chaux
4 de magnésie
8 de silice
11 à 14 d'oxydes de fer
3 à 6 d'oxydes de manganèse.

C'est donc un engrais phosphaté tout à fait comparable aux nodules. Seulement, pour être assimilable, il doit être moulu en farine très fine. Aussi les aciéries de Valenciennes, par exemple, livrent-elles leurs scories phosphatées avec garantie que 75 % peuvent passer à travers un tamis ayant des trous de 17/100 de millimètre.

Ces phosphates sont généralement très solubles dans le citrate d'ammoniaque, les 3/4 au moins de l'acide phosphorique et parfois la totalité

s'y dissolvent. Ils sont donc essentiellement assimilables. D'ailleurs l'acide acétique étendu y dissout facilement les phosphates et silicates de chaux et de magnésie.

Les parties inertes sont composées d'oxyde de fer et de manganèse qui ne nuisent pas à la végétation :

« C'est principalement dans les sols dépourvus de chaux, dit Grandeau, que se recommande l'emploi des scories de déphosphoration. Les terres qui ont besoin d'être chaulées sont particulièrement indiquées comme devant être singulièrement améliorées par les scories. »

« ... Les expériences culturales faites en Allemagne et en Angleterre, sont décisives en ce sens que l'efficacité de l'acide phosphorique contenu dans les scories, est, par elles, mise hors de doute... »

Depuis cette appréciation de Grandeau l'usage des scories s'est répandu avec rapidité en France.

Voici les doses employées ordinairement :

Plantes oléagineuses	1200 à 1500 kil. à l'hectare.
Betteraves	900 à 1000 —
Elés	800 à 1000 —
Légumineuse	700 à 900 —
Prairie	600 à 800 —
Plantes textiles	400 à 700 —
Pommes de terre	400 à 600 —
Vignes	800 à 1000 —

Les scories sont lourdes, par conséquent leur répartition dans le sol est difficile. Aussi recommande-t-on de les mélanger à une matière friable avant de les épandre, telle que du sable, des cendres, etc.

On les répand sur la terre avant de labourer la seconde fois, pour qu'elles ne soient pas enfoncées trop profondément dans le sol. Pour les prairies déjà faites on sème à la volée les scories mélangées autant que possible avec la cendre de bois dont la potasse s'ajoute à l'engrais phosphaté pour le rendre plus complet.

Chaux, marne, plâtre. — La chaux, les calcaires, la marne qui n'est qu'un mélange d'argile et de calcaire, le plâtre ou combinaison de la chaux avec de l'acide sulfurique, ont tous sur la végétation une influence proportionnelle à la quantité de chaux qu'absorbent les plantes ; la chaux agit parfois trop brutalement en brûlant les plantes ; il faut modérer son emploi ; le calcaire ou carbonate de chaux agit lentement et uniquement en présence de la fermentation des matières organiques ; la marne, qui ne contient guère que 20 à 30 0/0 de calcaire, agit plus lentement encore et ne peut être employée que comme amendement, pour donner à la terre les propriétés physiques qui lui manquent, et que l'argile, rendue

très délitable par la présence du calcaire, peut lui communiquer. Quant au plâtre ou sulfate de chaux, il agit par sa chaux et son acide sulfurique; le plâtre est sensiblement soluble dans l'eau, dès lors assez facilement assimilable. Aussi produit-il dans les prairies artificielles une bonification immense, ces herbages absorbant beaucoup de chaux.

Écumes de sucrerie. — La fabrication du sucre fournit un engrais excellent dans les écumes ou boues de carbonatation. La défécation et la carbonatation des jus entraînent dans les dépôts, outre du carbonate de chaux et de la chaux, des matières organiques et azotées nombreuses.

Voici, par exemple, une analyse de boues de double carbonation.

1000 kilogrammes contiennent à l'état frais :

480	kilogrammes de carbonate de chaux,
30	— de phosphate de chaux,
4,65	— d'azote,
6,50	— de sulfate de chaux.

Lorsque les écumes vieillissent, elles perdent une grande quantité de leur azote à l'état d'ammoniaque. Il est donc indispensable de les employer aussi fraîches que possible avant que les tas ne s'échauffent. Cet engrais, dit *Corenwinder*, est fort recherché par les cultivateurs intelligents; appliqué en hiver sur les prairies, il les féconde puissamment. En raison de la grande quantité de chaux qu'il contient, il fait périr les prêles, les mousses, les rumex et toutes les plantes acides qui croissent dans les terrains humides. Employé avec discernement pour les betteraves, il ne leur porte aucun préjudice comme plante à sucre.

Suivant les circonstances et la nature des terrains, on emploie cet engrais dans une proportion qui varie de 30 à 50,000 kilogrammes par hectare. C'est surtout dans les sols compacts qu'il offre des avantages. Il les ameublît en même temps qu'il les fertilise.

ENGRAIS CHIMIQUES

Les engrais chimiques appartiennent à la science moderne. Nous avons vu que la betterave absorbe dans le sol une certaine quantité d'éléments minéraux que la chimie a dosés. On eut l'idée, et G. Ville en est un des grands promoteurs, de donner à la terre tous ces éléments, non pas au moyen de fumiers, mais directement au moyen de produits chimiques. On composa des *engrais complets* contenant pour chaque plante les éléments nécessaires à sa végétation, et on les répandit sur le sol en guise de fumier.

Cette méthode, devenue trop absolue, donna de mauvais résultats. Il est bon d'employer des engrais chimiques, mais il ne faut pas négliger les fumiers organiques, dont la décomposition dans le sol aide à l'assimilation régulière des éléments chimiques et telle que l'ordonne la nature des produits nutritifs des plantes.

Parmi les engrais chimiques les plus répandus, nous trouvons les nitrates de soude ou de potasse, lesquels, à cause de leur azote et de leur base alcaline, poussent à une très forte végétation ; mais ce ne sont pas des engrais complets, et on doit les associer au fumier. Cependant on doit faire sur ces matières des observations auxquelles on ne saurait trop s'arrêter. D'abord on doit proscrire presque complètement le nitrate de potasse ou salpêtre ; son effet est désastreux au point de vue du sucre, et même il semble, dans les champs, pousser à la pourriture des racines. Le nitrate de soude doit entrer dans l'engrais complet dans les proportions indiquées, mais jamais les dépasser ; quand on l'associe aux fumiers, il doit l'être en même temps que les phosphates fossiles, et donne alors de très bons résultats. Enfin on ne doit *jamais* l'employer comme engrais complémentaire, c'est-à-dire l'ajouter à grande dose aux champs déjà fumés. On obtient ainsi, il est vrai, des racines plus grosses, mais le sucre leur fait défaut, et le rendement final n'est pas ou est peu augmenté, le volume des racines devenant plus considérable aux dépens de leur poids spécifique. C'est donc une cause de perte d'argent pour le fabricant et le cultivateur, comme nous l'avons déjà fait remarquer.

Nous dirons la même chose du sel marin, dont la présence dans le sol, volontaire ou non, produit, sans doute par hygrométrie, de bons effets, mais donne une cristallisation de sel avec le sucre, et augmente les mélasses. Le sel, de plus, est un désinfectant et empêche la décomposition trop rapide des matières organiques. Pélégot pense que, comme amendement, il jouit de la propriété de dissoudre une certaine quantité de phosphate de chaux, tandis que Pagnoul ne lui croit aucune influence sensible.

En général, la betterave ayant besoin de potasse, les engrais chimiques qu'on emploie dans la culture contiennent plus ou moins de sel de potasse, carbonate de potasse par exemple. Les sources les plus abondantes de potasse naturelle sont en Allemagne et sont connues sous le nom de sels de Stassfurth. On les classe en deux groupes :

Les *kalisalz*, dont l'analyse est :

Sulfate de potasse	18 à 20 0/0
— de magnésie	15 à 20
Chlorure de sodium	50 à 55

et les *kalidünger*, dont l'analyse donne :

Sulfate de potasse	18 à 22 0/0
— de magnésie	14 à 18
— de chaux	20 à 24
Chlorure de sodium.	12 à 18

Les salines du midi fournissent comme résidu des sulfates de potasse ayant la composition suivante :



Les engrais chimiques contiennent aussi des sels ammoniacaux, car l'azote s'assimile aussi facilement aux plantes sous cette forme, qui se rencontre d'ailleurs dans toutes les fermentations organiques du sol. Mais encore faut-il bien choisir la source d'azote la meilleure, le sulfate d'ammoniaque, par exemple, fournissant de moins bons effets que le nitrate de soude pour le rendement en sucre des betteraves. Parmi les sels ammoniacaux, il en est un remarquable par son action dissolvante des autres minéraux, c'est le carbonate d'ammoniaque; car c'est à cet état que se rencontre le plus souvent l'ammoniaque dans les fumiers. En effet, comme l'a remarqué le premier Déhérain, le carbonate d'ammoniaque produit à lui seul la dissolution des phosphates, des silicates, etc., comme s'il jouait tour à tour le rôle de base et d'acide; c'est donc un sel précieux à employer dans certaines proportions dans les engrais.

Ajoutons une remarque des plus judicieuses. Certains sels évaporés dans le laboratoire restent dans le fond de la capsule à l'état de croûte, tandis que d'autres, en cristallisant, *grimpent* le long des parois qu'ils tapissent de toutes parts, et finissent même par déborder. Tel est, par exemple, le nitrate d'ammoniaque. Donc le carbonate d'ammoniaque, qui ne produit pas cet effet, restera dans le fond du guéret, où il exercera son action bienfaisante, tandis que le nitrate d'ammoniaque, se créant une issue jusque vers le sol, viendra féconder les couches supérieures. Il faudra donc déposer le carbonate d'ammoniaque peu profondément en terre, et le nitrate dans le fond d'un sillon profond.

Superphosphates. — Liebig, dans sa chimie appliquée à l'agriculture, prétend que le procédé le plus facile et le plus pratique d'opérer la division des os pour les rendre assimilables à la terre, consiste à les traiter préalablement par la moitié de leur poids d'acide sulfurique délayé dans 3 ou 4 parties d'eau et, après un certain temps de digestion, d'ajouter encore 100 parties et de répandre ce mélange sur les champs immédiatement avant le passage de la charrue; en quelques

secondes l'acide libre se combine avec les bases contenues dans la terre, et il en résulte un sel neutre dans un très grand état de division.

Cette méthode, appliquée avec discernement, donne de bons effets, mais apporte avec elle la difficulté d'application qui provient de son état liquide, lequel ne permet pas la facilité des transports industriels du fabricant chez le cultivateur. On a imaginé de pulvériser les os et de ne pas décomposer la totalité du phosphate pour que la masse reste solide et puisse être emballée dans des sacs.

Voici la composition de ces *superphosphates* :

Phosphate soluble	22 à 25 0/0
— insoluble	8 à 10
Eau	10 à 12
Sulfate de chaux	35 à 45
Matière organique	12 à 15
Azote	0,75 à 1,5

On a voulu traiter de même les phosphates naturels et fossiles. Mais ces corps, ne contenant guère que de l'acide phosphorique et de la chaux :

Acide phosphorique	45
Chaux	55
	<hr/>
	100

donneraient en supposant toute la chaux réduite en sulfate :

Acide phosphorique	45
Sulfate de chaux	135
	<hr/>
	180

c'est-à-dire un engrais composé de sulfate de chaux sans valeur relative, et que l'on doit vendre cher à cause de son mode de formation, et d'acide phosphorique ne formant que 25 0/0 de la matière, engrais plus encombrant que le phosphate et que l'on paie bien au-dessus de sa valeur. C'est donc une méthode défectueuse.

Lorsque l'on traite un phosphate par l'acide sulfurique, il se forme du sulfate de chaux, du phosphate acide de chaux, légèrement soluble dans l'eau, et de l'acide phosphorique soluble. C'est cet acide phosphorique qui est le plus assimilable aux plantes. Mais il arrive que, au bout d'un certain temps, cet acide phosphorique redevient insoluble, sans doute par la réaction qu'il exerce sur le phosphate acide; quoi qu'il en soit, il se trouve à un état tel que la moindre influence acide le remet en liberté, en sorte que dans cet état, il est cependant fort bon pour l'agriculture. C'est ce phénomène que l'on appelle *retrogradation des superphosphates*.

Les superphosphates doivent donc, à cause de leur état acide, être employés en présence de matières alcalines ou dans des sols calcaires, tandis que dans les sols à réaction acide, comme les terres de bruyères, c'est aux phosphates tribasiques pulvérulents que l'on doit avoir recours, cette acidité suffisant pour saturer l'excès de chaux et mettre l'acide phosphorique en liberté.

DES COMPOSTS

On nomme composts le mélange de différents engrais minéraux, végétaux et animaux qui doivent faire jouir la terre de toutes les propriétés fertilisantes de ces matières réunies. Jadis les composts étaient empiriques et contenaient une foule d'éléments. Aujourd'hui on peut dire qu'il n'y a plus de composts proprement dits, ou que les engrais complets contenant des matières organiques et minérales sont des composts raisonnés capables de rendre au sol ce que la culture lui a pris.

Ainsi voici un engrais ou compost préconisé par Mohr, comme très bon pour la betterave dans un terrain calcaire ou marné :

	Kilogrammes.
Vieux noir traité par l'acide sulfurique en excès	29
Sulfate d'ammoniaque	11
Engrais des mines de Stassfurth	60
	100

Vivien propose de remplacer les sels de Stassfurth par leur équivalent :

Sulfate double de potasse et de magnésie	40
--	----

Ce dernier sel, dont nous avons parlé précédemment, forme le résidu des marais salants et abonde à Marseille.

On peut encore employer les mélanges suivants dont on doit proportionner le poids des matières aux besoins du sol :

Superphosphate,
Engrais potassique et magnésifère,
Guano.

Ou bien :

Poudre d'os,
Purin,
Sels de potasse
Guano.

On fait entrer dans les composts toute espèce de matière végétale, animale ou minérale. Parmi elles, nous citerons le produit final de la distillation des mélasses ou vinasses.

Les *vinasses* contiennent tous les sels de la betterave, les sels organiques exceptés. Or, on emploie ordinairement 40.000 litres de vinasse à l'hectare, soit 1 litre par kilogramme de betterave environ. Ces

40.000 litres de vinasse apportent au sol	330	kilogr. de potasse environ.
40.000 kilogr. de betterave enlèvent au sol	184	— —
Gain du sol	146	— —

On voit donc que la vinasse est un bon engrais potassique qui, d'ailleurs, produit de bons effets sur la richesse en sucre.

100 kilogrammes de mélasse donnent environ 450 litres de vinasse.

§ 4. — Préparation de la terre et récolte de la betterave.

FUMURE

La betterave, avons-nous dit, a besoin d'un sol bien divisé, remué profondément et très riche. Cette richesse de la terre, entretenue par les engrais, entraîne de nombreuses opérations, variables d'ailleurs avec la nature de l'engrais qu'on y applique. Nous venons de passer en revue rapidement les principales matières employées dans la culture de la betterave pour amender la terre. Leur choix, comme nous l'avons fait pressentir, variera avec la nature même du champ, suivant qu'il sera riche ou pauvre en éléments végétatifs. Nous avons vu aussi que les engrais peuvent être ou naturels ou chimiques. Ces derniers semblent contenir tous les éléments propres à la croissance des végétaux ; mais il ne faut pas oublier qu'il est une matière indispensable à une bonne végétation, c'est l'humus, que les engrais minéraux ne peuvent fournir. Il sera donc indispensable, en tous les cas, d'associer aux engrais minéraux des matières végétales. Or, un champ est toujours muni de matières végétales actives. En effet, les récoltes laissent toujours dans le sol de nombreuses radicules, leurs feuilles abandonnées, les herbes parasites retournées par les labours concourent tous à la fécondation du sol en humus, mais tout cela ne suffit pas encore. Le meilleur amendement que l'on puisse, à cet effet, appliquer à la terre, est le fumier de ferme. En effet, les engrais pailleux enfouis dans le sol en augmentent la porosité et donnent une quantité d'humus considérable ; mais on devra employer des fumiers à moitié décomposés, car les fumiers pailleux frais et longs rendent les betteraves fourchues et garnies d'un che-

velu abondant sur toute leur surface, et qui nuit à la qualité de la racine. On choisira de préférence le fumier de bêtes à corne, vaches, et bœufs, dans les terrains légers ; celui de cheval, plus chaud, dans les terrains argileux, quoique le mélange des deux fumiers, suffisamment consommés ensemble par des arrosages fréquents et bien dirigés, donne une matière fertilisante des meilleures.

Le fumier de ferme se porte dans les champs, en automne, lorsque les chaleurs sont passées et qu'elles ne peuvent plus volatiliser les matières ammoniacales. A ce moment, on les étale au fur et à mesure qu'on pratique un labour profond qui les enfouit. Alors les fumiers, entretenus humides dans le sol par les pluies d'automne qui les mélangent à la terre, condensés par l'hiver et le froid qui entretient et conserve leur valeur, terminent leur décomposition au printemps, et sont tout prêts alors à recevoir la graine, la gelée ayant brisé les mottes trop grosses de la terre, ameubli le sol et mélangé les couches. Dans un sol léger, le fumier doit être enfoui profondément ; dans une terre humide et forte, il doit l'être moins, car on conçoit que toutes les actions climatiques dont nous venons de parler se feront sentir différemment dans ces deux genres de terrain. De plus, un engrais sujet à se putréfier rapidement devra être enfoui plus profondément qu'un autre, pour éviter l'action trop rapide de l'air, etc. Toutes ces choses se raisonnent facilement.

Arrive le printemps, les mauvaises herbes poussent sur les champs d'une manière fort irrégulière, et qui indique que la fumure n'a pas atteint toutes les parcelles de la terre végétale. En effet, les mottes se sont dispersées sous l'effet de la herse et de la gelée, et ont couvert le tout sans ordre. Il faut donc procéder à un second labour préparatoire, moins profond que le premier, pour mélanger la couche supérieure et la préparer à l'ensemencement ; après cela, on va herser deux fois et rouler. Mais des gelées sont encore à craindre, on doit attendre quelque temps, et ces journées perdues pour les semailles ne le sont pas pour la terre, qui se bonifie encore sous l'effet du soleil, des pluies légères et de la brise du printemps, qui rendent moins compacte encore la couche supérieure. Alors on procède à un troisième labour léger qui précède immédiatement les semailles, on roule fortement la terre pour recouvrir la graine, et l'on attend la levée. Nous verrons plus tard comment on prépare la terre pour la culture en *billons* dont nous nous occuperons spécialement.

A quel moment de la culture doit-on mettre les engrais ? La théorie du labourage que nous donnons ici ne s'occupe que du fumier proprement dit ; mais les autres matières fertilisantes ? Ici encore le bon sens

doit guider le cultivateur. S'agit-il de phosphates fossiles, guano et autres composts et engrais solides qui ont besoin de mûrir au fond de la terre pour être assimilables, on devra les mettre en terre concurremment avec le fumier de ferme. Les engrais chimiques, composés de sels assimilables directement, trop solubles dans l'eau pour les exposer aux pluies qui les entraîneraient dans le sous-sol sans aucun profit pour la plante naissante, on les mettra en même temps que la graine, soit dans les mêmes semoirs, soit, ce qui vaut beaucoup mieux, dans un semoir à part; nous reviendrons, d'ailleurs, un peu plus loin sur ce mode de distribution de l'engrais. D'autres enfin, comme les superphosphates qui ont besoin d'opérer une réaction chimique sur le calcaire ou autre élément du sol, devront être projetés au second labour.

Quelle quantité d'engrais doit-on mettre sur un champ? Nous avons vu comment on pouvait, avec la méthode G. Ville, s'assurer quel engrais il était nécessaire d'appliquer à un champ par des essais collatéraux d'engrais incomplets sur des parcelles de champ. Nous savons aussi que l'analyse nous fournira de très utiles renseignements sur la qualité et la quantité de matières minérales fertilisantes que contient un sol. Ces deux méthodes, jointes ensemble, indiqueront parfaitement les besoins de la terre pour une culture donnée. Quant à la quantité d'engrais à ajouter, nous la calculerons d'après la culture que l'on veut appliquer. Or, si nous voulons cultiver de la betterave, nous compléterons, au moyen de l'engrais, les quantités que nous savons être utiles à la betterave de chaque élément nutritif que nous connaissons, savoir :

184	kilogrammes de potasse,
120	— d'azote,
46	— d'acide phosphorique, etc.

par hectare. Si donc l'analyse a reconnu dans le sol, par exemple :

100	kilogrammes de potasse,
50	— d'azote,
50	— d'acide phosphorique,

nous composerons un engrais qui fournisse au sol le complément :

84	kilogrammes de potasse,
70	— d'azote,

et qui n'a pas besoin de contenir de phosphate, puisque le sol en contient déjà plus qu'il n'en est nécessaire. Seulement nous ferons en sorte que ces quantités théoriques soient quelque peu dépassées pour éviter les erreurs et les pertes, cependant dans certaines limites. Ainsi, G. Ville a constaté que l'on ne devait pas dépasser 150 kilogrammes

d'azote par hectare, sous peine de désordres graves. D'ailleurs, d'après les observations de Joulié, les betteraves, à richesse égale de sucre, contiennent d'autant plus d'azote qu'elles ont été cultivées sur des terrains ayant reçu une plus grande quantité d'engrais azoté. Quant aux phosphates, il y a peu de danger à en mettre une dose exagérée ; il est vrai que l'acide phosphorique augmente dans les betteraves quand il augmente dans les engrais, mais c'est peu de chose à comparer avec la bonne influence qu'il opère sur la richesse saccharine. Joulié fixe à 35 ou 40 kilogrammes par hectare la quantité d'acide phosphorique minima que l'on doit entretenir dans le sol.

La potasse est indispensable à la croissance de la betterave ; mais l'augmentation de potasse ne fait qu'augmenter les sels dans le jus de la racine, sans faire croître la quantité de sucre. On doit donc être très sobre de son emploi, cependant il ne doit pas y en avoir moins de 60 à 80 kilogrammes par hectare.

La soude a une influence réelle sur la betterave, quoique difficile à chiffrer. Cependant on a remarqué qu'associée à la potasse, elle remplace celle-ci avec avantage et rend les betteraves moins salines. Joulié conseille, dans ce cas, de mettre moitié de l'un et moitié de l'autre, et assure que l'on arrive ainsi à de bons résultats quant à la pureté du jus. Pagnoul a refait les mêmes essais (1886) et est arrivé à des résultats analogues ; il se demande même si les alcalis potasse et soude jouent bien un rôle direct dans la végétation, ou si ces bases ne font que servir d'introducteurs à l'azote en lui permettant de prendre la forme nitrique. Et comme l'azote nitrique employé en excès diminue la richesse de la betterave, l'excès des bases doit être par cela même évité avec soin.

Chaque cultivateur, aidé s'il en est besoin d'un homme de science, devra donc savoir la nature de son terrain, calculer lui-même l'engrais qui lui est nécessaire, et le composer à sa plus grande économie avec les matériaux qu'il a sous la main, choisis suivant la récolte qu'il veut faire. On ne peut pas en dire davantage sur ce sujet.

ASSOLEMENTS

La terre *se fatigue* vite d'une culture. Ainsi, si l'on fait plusieurs années de suite de la betterave sur un champ, en dépit des engrais la récolte baissera rapidement. On a reconnu que certaines cultures rendaient à la terre les propriétés qu'une autre lui avait enlevées, que certaines récoltes étaient plus belles quand elles suivaient les unes, qu'à la suite de telle autre, d'où l'on a conclu des modes de cultures succes-

sives, dits assolements. Une autre raison règle les assolements ; il ne faut pas perdre de temps ; telle récolte finie, il faut pouvoir en commencer immédiatement une autre. La betterave occupe la terre une année toute entière, puisqu'on fait les labours en automne et la récolte à l'entrée de l'hiver. Si donc l'on veut faire une récolte nouvelle le printemps suivant, il faut choisir une graine qui ne demande pas grand labour, en sorte que l'on est conduit à différents genres d'assolements sur lesquels nous allons nous entretenir.

Autrefois en France, encore en Russie et autres contrées retardataires, la culture était plus simple. Après avoir fait travailler la terre deux ans, on la laissait *se reposer* une année ; c'est ce que l'on nommait la jachère. On ne connaissait pas alors les assolements, ni la culture intensive de nos jours. Pendant la jachère, les herbes croissaient sur les champs, les troupeaux les brouaient en déposant leur fumier, et l'année suivante le labour enfouissait fumier, racines et herbes vertes, et la terre se trouvait par là enrichie en matières minérales par les déjections des animaux, en azote par celui que les herbes retournées avaient emprunté à l'atmosphère ; c'était une fumure naturelle et fort lente, à laquelle on a renoncé de nos jours.

Dans les assolements, on fait revenir la betterave sur le même champ tous les deux, trois, quatre ou cinq ans, c'est ce qu'on appelle assolement bi, tri, quadri, quinquennal.

Dans l'*assolement biennal*, on fume tous les deux ans, à raison de 40,000 kilogrammes de fumier par hectare, et l'on sème successivement :

Blé,
Betterave.

Assolement triennal :

Froment,
Betterave,
Avoine.

Heuzé calcule ainsi qu'il suit la quantité de fumier nécessaire à cette culture :

Les betteraves absorbent.	24.000	kilogrammes de fumier.	
L'avoine	12.000	—	—
Le froment	14.000	—	—
Total.	50.000	—	—

qu'il est nécessaire de répandre sur le sol. Nous avons dit que la betterave, pour fournir beaucoup de sucre, ne devait pas être en contact trop

immédiat avec le fumier. Aussi recommande-t-on dans les assolements, de porter sur les champs, d'un seul coup, tout le fumier nécessaire pour la rotation, de semer sur cette fumure le blé, et l'année suivante, la betterave, sans aucune espèce d'engrais, après les trois labours précités. Dubrunfaut fait remarquer que les blés semés sur si forte fumure sont sujets à la verse; il propose, et beaucoup de cultivateurs ont adopté cette méthode, de semer l'avoine sur la fumure, et de retourner ainsi la rotation :

Avoine (fumée),
Betterave,
Froment,

On conseille aussi de semer la betterave, plutôt après un seigle qu'après un blé.

Assolement quadriennal proposé par Morel de Vindé :

Betterave,
Avoine de mars,
Trèfle commun,
Blé d'hiver.

Il faut remarquer que la fécondité augmente chaque fois que cet assolement fait un retour sur lui-même, car on sait combien le trèfle laisse dans le sol de radicelles qui engraisent la terre.

Assolement quinquennal. — Dans le suivant, on fait de la betterave deux années de suite sur le même champ.

Betterave,
Betterave,
Blé,
Trèfle,
Avoine.

On peut encore prendre la rotation quinquennale :

Betterave,
Blé,
Trèfle,
Trèfle,
Blé.

Le deuxième blé succédant au trèfle est plus beau que celui venu après la betterave. Ordinairement, on prélève deux récoltes de trèfle, et on retourne la troisième pour engrais.

Il est assez rare de voir un cultivateur s'astreindre à ne pas fumer sa

terre avant de semer les betteraves. En général on fait une forte fumure pour les blés et une demi-fumure avant l'hiver sur les terres à betterave sans compter l'usage trop fréquent des engrais chimiques dit complémentaires, appliqués sur le champ en même temps que la graine, pour pousser les betteraves au poids, au détriment du sucre. En sorte que tous les sages conseils donnés pour obtenir des betteraves riches sont mis à néant; les engrais les plus puissants, les nitrates par exemple, sont employés à profusion, la betterave pousse grosse et pesante, les rendements sont excessifs, mais la betterave ne contient plus de sucre en quantité rémunératrice, et l'industrie tout entière est à deux doigts de sa perte. Il est donc indispensable de suivre les préceptes de la bonne culture, ceux de l'achat rationnel de la bonne betterave, et d'intéresser les cultivateurs à ce que la betterave soit riche.

On a supprimé la jachère et on l'a remplacée par les assolements. Comment l'un a-t-il pu prendre la place de l'autre sans que la richesse du sol s'en ressentit? C'est que lorsque l'on applique le fumier sur le sol, on lui fait acquérir une somme de matière fertilisante que les récoltes devront consommer. Or, toutes les récoltes ne consomment pas la même quantité de ces éléments. Certains, par exemple, absorberont beaucoup de potasse et très peu d'acide phosphorique, tandis que pour d'autres, c'est l'acide phosphorique qui sera profitable à l'exclusion de la potasse; enfin un troisième genre de plante utilisera pour sa croissance beaucoup plus de chaux que d'acide phosphorique et de potasse. Il faut ajouter que la même chose se présentera pour l'azote contenu dans le sol à ses différents états, et enfin pour tous ces éléments pris deux à deux, trois à trois, etc. Cela posé, si, par exemple, on met sur un champ du fumier de ferme uniquement comme engrais, on pourra cultiver sur ce champ, successivement, différentes plantes sans ajouter de fumier, à condition que l'une absorbe presque exclusivement de la potasse la suivante de l'acide phosphorique, la troisième, de la chaux, etc., en sorte qu'à la fin de la *rotation*, toutes ces plantes auront épuisé complètement les éléments nutritifs du fumier. On aura recours alors à une nouvelle fumure, et le sol portera de nouveau ses récoltes sans arrêt et sans jachère. Il est à remarquer que si l'on calcule bien les genres de plantations que l'on cultivera dans les champs, ces plantations n'absorberont pour leur nourriture que les éléments fournis par le fumier. La terre ne servira que de réceptacle, d'intermédiaire entre la plante et le fumier; grâce à l'humus qu'elle contient, l'engrais sera assimilé par la plante sans fatigue pour elle; au contraire, toutes ces récoltes successives laisseront dans le sol leurs racines et leurs feuilles, en sorte que la fécondité du champ sera d'autant plus grande qu'il y aura plus long

temps qu'il sera en culture, vu la grande quantité d'humus qu'il contiendra.

On appelle *dominante*, cet élément nutritif, potasse, chaux, acide phosphorique, etc., pour lequel les plantes ont une prédilection dans leur nutrition. C'est ainsi que :

- La dominante des céréales est l'*acide phosphorique* avec l'*azote*.
 — des légumineuses, des tubercules est la *potasse*.
 — des fourrages, est la *chaux*.

Toutes les rotations s'établiront donc avec les éléments céréales, tubercules ou légumineuses et fourrages, dans l'ordre le plus propre à fournir de belles récoltes, et c'est ainsi que se sont formés, par expérience, les assolements dont nous parlions précédemment. Mais il arrive que, sans addition d'engrais, un tel champ est très favorable aux fourrages, impropre aux pommes de terre, tandis que sur d'autres, c'est la betterave qui pousse le mieux, à l'exclusion des fourrages. Pourquoi? C'est que le premier contient beaucoup de chaux et peu de potasse, tandis que dans le second la chaux fait surtout défaut, tandis que la potasse domine. C'est alors qu'il devient nécessaire d'appliquer des engrais raisonnés, puisqu'il sera inutile d'ajouter de la chaux dans le premier lot et de la potasse dans le second, pour permettre d'établir une rotation complète sur ce champ. Mais quand on dit *dominante*, on ne veut pas entendre que les autres éléments fertilisants soient inutiles à la plante; c'est ainsi que nous avons vu que la potasse, qui est la dominante pour la betterave, n'est pas seule indispensable à cette racine, l'acide phosphorique lui est aussi de première nécessité, ainsi que la chaux; on devra donc, dans toute rotation, tenir compte, pour calculer les quantités d'engrais, non seulement des dominantes, mais aussi de toutes les matières absorbées par les récoltes formant l'assolement. Et l'on pourra de même, lorsque l'on disposera d'un engrais spécial, avec les dominantes, déterminer la rotation que cet engrais permettra d'établir.

Ces quelques mots suffisent pour faire comprendre le sens et la portée de l'expression « *dominante* » souvent employée, et parfois très mal interprétée.

SEMAILLES

L'une des conditions principales pour faire de la betterave riche en sucre, est, après un emploi intelligent des assolements et des engrais, de semer convenablement la betterave. Nous ne parlerons pas des semoirs dont il existe maints bons systèmes parmi lesquels on n'a que

l'embarras du choix; nous parlerons surtout de la graine, de sa culture, de son choix, de sa préparation, de son semis.

On ne doit pas acheter la première graine venue. Il faut être sûr de la qualité que l'on emploie; car, outre la nature de la betterave qui en naîtra et que l'on doit connaître, il est certain que dans la même variété les unes sont riches, les autres sont pauvres. Or, on remarque que les betteraves riches proviennent de betteraves porte-graines riches, tandis que les portes-graines pauvres en sucre ne donneront jamais que des betteraves pauvres. Il est donc indispensable de connaître de quel porte-graines vient une semence, et pour cela le meilleur procédé pour le cultivateur ou le fabricant est de faire lui-même sa graine. Cependant, il y a aujourd'hui de nombreux marchands fabricants de graines fort honorables et dans lesquels on peut avoir confiance; mais avant d'acheter, faut-il donc bien s'assurer à qui l'on achète.

On a reconnu que le volume apparent des graines n'indique rien quant à la qualité des betteraves qui en proviennent, grosses ou petites, les graines peuvent être bonnes.

Lorsqu'arrive le moment de semer, il est de première nécessité que la germination se fasse vite, et que la petite racine prenne de la force promptement; car alors les insectes se portent sur cette verdure tendre et la dévorent rapidement; de plus, c'est du temps gagné sur la culture générale, temps qui se traduit à la fin de l'année par une plus grande richesse en sucre. Il est donc d'usage de plonger les graines dans l'eau avant les semailles, pendant plusieurs jours, pour commencer l'action végétative. Cette opération se fait de deux manières: en plongeant les sacs de graine tout entiers dans l'eau, ou bien en versant la graine dans des bacs pleins d'eau. Ce dernier mode d'opérer est plus long, mais il donne en même temps comme résultat une sélection utile de la graine, tout ce qui nage au bout de ce temps étant de mauvaise qualité.

On sème, et pour assurer une végétation puissante, on a l'habitude de nourrir la jeune plante avec des engrais chimiques semés en même temps. Il arrive malheureusement souvent que l'on choisit mal son engrais, et qu'au lieu de faire pousser la plante, on la tue. C'est ce qui arrive avec l'emploi des nitrates. Et cependant l'emploi bien ordonné des engrais est bon, car il a, en sus de ce que nous avons déjà dit, l'avantage d'écarter les insectes souterrains, vers blancs et autres. Une bonne méthode, pour arriver à ce résultat, est de plonger la graine plusieurs heures avant l'ensemencement dans un liquide tenant en solution un engrais azoté. Ladureau conseille l'immersion des graines durant 15 heures dans des solutions salines concentrées, renfermant de l'azote soluble ammoniacal ou nitrique et de l'acide phosphorique soluble, à

l'état de superphosphate de chaux. Les betteraves provenant de graines, ayant subi ce traitement, ont pris, paraît-il, 2 0/0 de sucre de plus que celles qui n'ont absorbé que de l'azote seul. La solution renfermait :

5 kilogrammes de nitrate de soude,
5 — de superphosphate de chaux,
10 litres d'eau.

C'est donc à tous les points de vue une bonne méthode.

La graine ainsi préparée est semée soit à la main, soit à la machine, en lignes ou en poquets. Après avoir semé, on roule fortement la terre, car plus le sol est tassé, mieux se fait la levée, et moins la jeune plante aura à souffrir des insectes.

Enfin, on doit semer le plus tôt possible, aussitôt que les gelées ne sont plus à craindre, car on a reconnu que plus tôt on sème la betterave, plus elle est riche en sucre, et plus tôt elle est sortie de terre moins les insectes ont de prise sur la jeune plante. De plus, après les gelées, la terre est imprégnée également de l'humidité provenant de la fonte de la glace et de la neige, et très propre à fructifier la graine, car le manque d'humidité est fort grave dans la germination. C'est au point que Mathieu de Dombasle proposait l'arrosage des plans en cas de sécheresse, et Champonnois, reprenant cette idée, a calculé que chaque graine ne consommant pas plus de 5 centilitres d'eau, l'arrosage d'un hectare ne reviendrait pas à plus de 20 francs, frais bien inférieur au labour et travail nécessité par un nouveau semage par suite de non germination des graines.

CHAPITRE II

SÉLECTION DE LA BETTERAVE

§ 1. — Généralités.

Lorsque l'on veut faire soi-même sa graine, on choisit dans sa culture les betteraves les mieux faites, ayant le plus de chance de devoir être riches d'après l'apparence. On les arrache et leur coupe les feuilles, en conservant le pied des pétioles, puis on les fait passer par le laboratoire où l'on recherchera si réellement leur richesse répond à leur apparence. Pour cela, il est deux moyens. Le premier, expéditif mais défectueux, consiste à prendre la densité absolue de la racine entière en la plongeant successivement dans différents liquides de densité connue, faits de dissolutions de sel marin dans l'eau. En effet, on a remarqué que, *en général*, la betterave la plus riche était la plus dense. Mais on peut être induit en erreur par ce procédé auquel on préfère employer l'analyse. A cet effet, Possoz, Champonnois et autres chimistes industriels, ont imaginé de petits appareils généralement formés d'une mèche tournant rapidement, et qui ont pour but de râper instantanément une certaine quantité de la betterave à essayer, suffisante pour faire un essai saccharimétrique; car on a remarqué qu'un trou fait dans le corps d'une betterave ne nuisait en rien à sa végétation postérieure. Les betteraves, choisies parmi les plus riches, sont ensilées avec grand soin, ou bien ensevelies dans le sable d'une cave saine, et replantées au printemps prochain dans un sol bien travaillé, fumé à point, et qui soit dans les meilleures conditions possibles. Bientôt de nouvelles feuilles se forment, la tige porte-graine apparaît. Au moment de la récolte, on recueille avec soin ces graines qui devront servir pour la saison la plus prochaine, car elle s'altère en vieillissant.

Voici comment Corenwinder résume les meilleures conditions à apporter à la culture des porte-graines :

1° Choisir une parcelle de terrain en rapport avec la quantité de porte-graines que l'on veut obtenir. La terre, en bon état de culture, sans engrais direct, doit être aussi vierge que possible en production de

betterave. Le sol meuble, profond, aura été préparé par un labour d'automne;

2° Semer d'assez bonne heure en espaçant les plants de 0^m,25 au carré, pour obtenir des pieds de 0^m,07 de diamètre;

3° Attendre pour arracher que les porte-graines soient parfaitement murs. Choisir alors ceux qui sortent le moins de terre, les mettre à part et les laisser bien sécher avant de les disposer en silos. Corenwinder les met dans des caves, afin de pouvoir les déplacer plusieurs fois l'hiver, et éviter ainsi la pousse des feuilles;

4° Au printemps, avant de planter, préparer un bain d'eau salée ou sucrée, à une densité de 3°,5 (5° Baumé), et y plonger les pieds choisis. Ceux qui ne surnagent pas sont séparés et plantés à part pour faire de la graine pour les semenceaux de l'année suivante. Ceux qui surnagent sont plantés avec soin dans une terre analogue à celle décrite plus haut; on espace les lignes de 0^m,50 et les pieds dans les lignes de 0^m,33 environ, en prenant soin de les enfoncer assez profondément pour qu'ils soient recouverts d'au moins quatre centimètres de terre;

5° Enfin, arroser une ou deux fois avec de l'eau contenant une dissolution de mélasse de fabrique et de superphosphate de chaux. Le purin et le nitrate de soude sont nuisibles à cause de leurs principes alcalins.

Kuaner conseille, pour améliorer et entretenir la race, de mélanger la graine ainsi obtenue avec d'autres graines de même nature, cultivées avec les mêmes soins sous un autre climat, et de prendre les porte-graines nouveaux parmi ces betteraves mélangées. Il en résulte un croisement de race fort propre à revivifier l'espèce.

Enfin de Vilmorin, pour s'assurer de la qualité héréditaire des racines, ne sème en porte-graines que la deuxième ou la troisième génération de betteraves dont on a vérifié chaque fois la richesse par l'analyse. Par ce moyen on est certain d'avoir des betteraves dont l'espèce n'est pas sujette à dégénérer.

Lorsque l'on a planté la betterave pour portes-graines, le sucre qu'elle contient se perd en certaine quantité pour l'alimentation des premières feuilles, puis reste en permanence dans la racine jusqu'au moment où les graines apparaissent. Alors tout le sucre et tout l'acide phosphorique disparaissent de la racine où s'accroissent dans une proportion considérable la potasse et la soude.

Après ces généralités nous allons examiner les différentes méthodes usitées aujourd'hui pour faire la sélection des graines de semis, et celles des betteraves porte-graines.

Cette opération de la *sélection* est devenue une des préoccupations les

plus vives de l'agriculture, et a donné lieu à de nombreux travaux scientifiques.

C'est sans contredit à Louis de Vilmorin que l'on doit « l'amélioration scientifique et méthodique de la betterave à sucre » qu'il étudia depuis 1850, et dont le résultat fut sa betterave blanche améliorée, souche de toutes les racines riches du monde entier. Son fils Henri de Vilmorin a continué les travaux de son père et c'est chez lui que naquirent les méthodes actuelles de sélection.

Ajoutons que les procédés analytiques les plus utilisés aujourd'hui ont été créés par H. Pellet, et ce sont elles que nous décrirons dans cet ouvrage.

§ 2. — Graines de betteraves.

L'amélioration de la betterave a conduit à la recherche des graines de qualité supérieure. Aussi ne se contente-t-on plus d'acheter des graines aux fabricants, ou de fabriquer soi-même sa graine et de la semer; dans bien des fabriques, on essaie au préalable le pouvoir germinatif des graines dont on dispose.

Le principe général de ces essais consiste à prélever sur l'ensemble des sacs de graine que l'on veut expérimenter un échantillon moyen.

Puis, sur cet échantillon moyen, prélever 50 à 100 graines représentant la moyenne de l'échantillon.

Faire germer ces graines, et compter le nombre de graines qui lèvent en huit jours, celles qui lèvent en quinze, et le nombre de germes que fournit chaque graine.

Comme l'achat des graines se fait au poids, on s'assure également par dessiccation à l'étuve à 100° (sur 5 à 10 grammes de graines pris sur l'échantillon moyen) que ces graines ne sont pas chargées d'humidité pour en augmenter le poids. Les graines ne doivent pas perdre dans cet essai plus de 14 à 15 % d'humidité. De plus on pèse 10 à 20 grammes de graines, on les étale sur un papier et on sépare à la pince les graines une à une et on les met de côté. Ce qui reste sur le papier représente la moyenne des impuretés que contient la graine, sable, enveloppes, feuilles, etc., et qui ne doit pas dépasser 4 %.

Tel est l'ensemble des essais que l'on a à faire sur la graine.

On conçoit que le prélèvement d'un échantillon moyen soit très important pour que ces expériences aient une valeur quelconque. Aussi faut-il procéder avec beaucoup de soins à cette prise d'échantillon. Avec une sonde comme celle qui sert aux sucres, on prélève une preuve dans chacun des sacs avec toutes les précautions indiquées dans le prélèvement par les douanes ou agents des contributions d'un échantillon de sucre.

Toutes ces preuves à la sonde sont réunies, mélangées et étalées sur une table à rebords de manière à ce que le tas soit réparti en une couche mince d'égale épaisseur partout. On partage cette couche en parties égales au moyen des règles, et l'on prend une de ces parties que l'on étale de nouveau sur une épaisseur d'une graine seulement. Pour ce dernier travail qui constitue la dernière prise d'échantillon on a parfois des boîtes spéciales à casiers contenant chacun 100 graines environ dans lesquels la distribution se fait méthodiquement. On prend alors un de ces lots de 100 graines pour la germination, les autres lots servant aux essais complémentaires.

Comment va-t-on faire germer ces graines pour avoir une relation exacte entre l'essai de laboratoire et la pratique agricole ?

Ici les avis sont très partagés et de nombreux appareils germinateurs proposés.

Il faut pour faire ces essais que la graine soit le plus possible dans des conditions naturelles, mais il faut que l'on voie la graine pour examiner ce qu'elle fait. Il faut aussi éviter les moisissures, mettre la graine dans un état hygrométrique convenable, enfin il y a toute une série de desiderata qu'il faut observer autant que possible, ce à quoi on n'arrive pas complètement, dans aucun appareil germinateur. Cependant il y a toujours un élément qu'il faut faire entrer en ligne de compte, c'est l'adresse et la science de l'expérimentateur. Il est évident qu'un appareil quelconque en bonne main donnera des résultats comparables, et si l'expérimentateur se sert de son appareil depuis quelque temps il peut savoir le rapport proportionnel qui existe entre les indications de son appareil et le rendement réel cultural. Ainsi il arrive souvent que la terre rend 20 0/0 de plus de germes qu'un germinateur de laboratoire. Ce rapport étant établi exactement pour un appareil donné, il n'y a plus qu'à appliquer ce coefficient aux expériences de laboratoire, et l'on a ainsi un renseignement très suffisamment exact sur le pouvoir germinatif des graines.

En résumé, il ne suffit pas d'avoir un appareil germinateur pour savoir immédiatement la qualité des graines que l'on essaie avec, il faut savoir s'en servir.

Ceci posé, il nous reste très peu de chose à dire sur les appareils proposés.

Le plus simple de tous c'est la *caisse à terre*, espèce de caisse de dimensions variables, ayant environ 20 centimètres de hauteur et dans laquelle on met une couche de terre de 10 à 15 centimètres. Cette terre doit être légère, bien criblée pas trop chargée d'humus sans quoi elle moisirait, et moyennement tassée. Avec une planche garnie de

pointes espacées régulièrement on fait dans cette terre des trous tous de même profondeur, 8 à 10 millimètres environ. Dans chacun de ces trous on met une graine; on recouvre chacune des graines avec un peu de terre, on arrose, l'excès d'eau s'écoule au bas par des trous ménagés dans le fond de la caisse, et l'on pose par-dessus un couvercle qui ne doit pas fermer hermétiquement. La caisse est alors abandonnée dans un endroit où il fasse toujours plus de 15° de température, autant que possible 20 à 25°. Tous les jours on compte les germes sortis, le nombre de germes fournis par chaque graine, et au bout de quinze jours l'expérience est terminée. Un tableau donnant tous ces renseignements jour par jour indique à peu près quel sera le travail de la graine en pleine terre.

Cette appareil très simple a l'inconvénient que toutes les graines, quelque soin que l'on prenne, ne sont pas placées dans des conditions identiques, l'humidité n'est pas répartie régulièrement, et l'on n'est pas absolument maître de son expérience.

Aussi a-t-on imaginé des appareils où l'on puisse voir la graine et où toutes soient dans des conditions identiques.

On imagina alors de poser les graines simplement sur une couche uniforme de sable humide placé dans le fond d'une assiette, d'appuyer légèrement chaque graine, recouvrir le tout d'une glace, et suspendre les assiettes ainsi préparées dans une étuve dont l'air est saturé d'eau. Cette étuve peut être simplement un cristalliseur contenant de l'eau dans le fond, et sous lequel brûle une veilleuse quand la température est trop basse, ou bien une petite armoire dans laquelle on entretient une température de 20 à 25°, et contenant un réservoir d'eau ouvert qui sature l'air d'humidité. Cette dernière méthode est employée surtout lorsque l'on a une grande quantité d'essais à faire; alors les assiettes sont remplacées par de petits bacs plats en zinc ou en terre.

Pour rendre l'appareil plus maniable on a essayé de remplacer le sable par des matières poreuses sur lesquelles reposent simplement la graine dans le fond de rainures ou de petites cavités faites d'avance, comme le plâtre ou la faïence déglacée. Dans cette catégorie peut encore se placer le germeoir Israël dans lequel les graines sont placées sur une double épaisseur d'une étoffe de laine, l'étoffe du dessous débordant le vase qui les contient, et plongeant dans l'eau de manière à entretenir par capillarité une humidité constante.

Enfin il y a des appareils très portatifs, comme le germinateur Keffel décrit par Pellet, composé d'un cristalliseur portant aux deux tiers de la hauteur, appuyé sur un rebord *ad hoc*, une cuvette en terre poreuse percée de 50 à 100 trous plus petits que la graine, et qui en reçoivent

chacun une. On met de l'eau dans le fond du cristalliseur, un couvercle en bois garni de feutre par-dessus, un thermomètre qui traverse le tout et donne la température intérieure.

Un autre appareil du même genre, celui de Coldewe et Schœnjahn ressemble complètement au précédent par la forme, seulement la cuvette en terre, garnie de rainures au lieu de trous, est remplie de sable humide par dessus la graine placée au fond.

Dans ces deux appareils les germes poussent à travers les trous. Tous les 7 jours on enlève à la pince les germes formés, et l'on peut savoir ainsi le nombre de germes fournis par les 50 ou 100 graines mises en expérience.

Un échantillon ainsi prélevé ne doit pas contenir plus de 25 0/0 de graines ne germant pas, et doit donner de 130 à 150 0/0 de germes.

On a remarqué d'ailleurs que les appareils dans lesquels la graine est au contact du sable donnent de meilleurs résultats que ceux où elle est simplement dans l'atmosphère humide, ce qui est très compréhensible. Mais, comme nous le disions plus haut, chaque expérimentateur doit connaître le coefficient de son appareil pour pouvoir tirer des conclusions pratiques de ses essais.

§ 3. — Analyse des porte-graines.

Nous avons dit qu'aujourd'hui les betteraves porte-graines étaient analysées pour ne planter que celles dont la richesse donnait à espérer une génération riche elle-même. On conçoit que dans les entreprises importantes comme celles des grands fabricants qui font la culture de la betterave porte-graine sur une vaste échelle, l'analyse de plusieurs milliers de racines, et dans un temps très court, soit une opération des plus délicates et qui demande une installation spéciale et un personnel nombreux.

Aussi les laboratoires de sélection où l'on fait ces analyses sont-ils de véritables usines à analyse, munies de moteurs et de machines, où les opérations se font méthodiquement avec un personnel discipliné, dont chaque mouvement est étudié pour perdre le moins de temps possible.

Nous ne décrivons pas ici par le détail les méthodes d'analyse proprement dites que nous retrouverons plus loin au chapitre qui traite de ces questions. Nous décrivons seulement l'agencement du laboratoire pour faire les dosages par la méthode Pallet « par diffusion aqueuse instantanée et à froid ».

Le premier travail de sélection se passe dans les champs. Les bette-

raves destinées aux porte-graines y sont en petits tas sous une couche de terre et de feuilles. On doit donc défaire ces tas, faire un trillage à la main des racines à analyser, écartant celles qui sont ou trop petites ou trop grosses, ne conservant que les betteraves de forme et dimension parfaites.

Après ce travail, on transporte les racines de choix dans un grand magasin attendant au laboratoire, où elles sont denouveau classées, numérotées, pesées une à une sur une balance ou peson rapide, et enregistrées sur un livre où l'on notera en outre la richesse en sucre après analyse.

Au sortir du laboratoire les betteraves échantillonnées sont reportées au magasin et placées en tas suivant la richesse par degré, après avoir bouché le trou de prise d'échantillon avec de l'argile. On les ensile ensuite avec soin jusqu'au moment du plantage.

Si l'on considère que les laboratoires de sélection font de 2.000 à 6.000 et même 10.000 analyses par jour, on voit quel grand espace on doit donner à ces magasins qui doivent sans cesse être alimentés et contenir au moins le travail de la journée.

Dans le laboratoire proprement dit se trouvent deux ou quatre casiers de 100 cases chacun, suivant l'importance de l'établissement. Chaque case est numérotée, et tandis que l'on place dans l'un les betteraves à analyser avec leur numéro d'ordre, les chimistes prélèvent sur l'autre les échantillons, en remettant exactement en place les betteraves que l'on vient de soumettre à la sonde.

L'instrument qui sert à prélever l'échantillon se nomme « foret-râpe de Keil et Dolle ». C'est un appareil analogue à la sonde-râpe de Champnois, que nous décrivons plus loin, mais mû mécaniquement et très perfectionné (fig. 7).

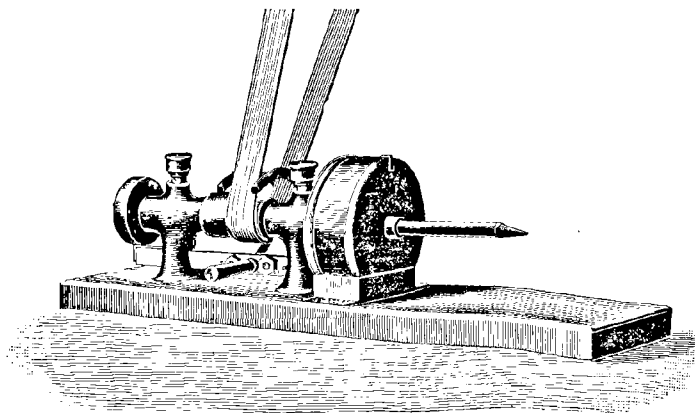


Fig. 7.

Le point capital est la mèche du foret, qui est constituée par un cône en acier creux taillé de la même manière qu'une lime à bois, la taille dans le sens de la rotation, et présentant trois rainures qui permettent à la pulpe de pénétrer dans le cône. Cette mèche est montée par emmanchement à bayonnette sur le foret qui est creux lui-même. Le cône est garni d'une tige fixée à son centre et pénétrant dans le foret; l'autre bout de la tige est muni d'un petit disque du même diamètre que l'intérieur du foret. Quand on monte le cône, le disque pénètre donc dans le foret retenu au cône par la tige.

Ceci posé, on met le foret-râpe en mouvement en poussant la courroie du moteur de la poulie folle sur la poulie fixe que porte l'appareil. On présente la betterave à analyser, et on y perce un trou au quart de la hauteur au-dessous du collet, en ayant soin de ne pas pousser trop fort pour ne pas perdre de jus, et en évitant de percer la racine de part en part. On retire la betterave, et l'on arrête le foret, arrêt qui se fait instantanément au moyen d'un frein.

Puis on déboîte le cône, on met une capsule numérotée sous le forêt, et l'on tire à soi. Le petit disque attenant au cône ramène avec lui la pulpe qui s'est emmagasinée dans le foret. On fait tomber cette pulpe dans la capsule, en ayant soin de rejeter ce qui est au bout, près du disque, soit $\frac{1}{5}$ environ de la pulpe, et qui provient de la pulpe laissée dans le cône par un râpage précédent. Avec ces précautions on n'a donc pas besoin de nettoyer le cône chaque fois. Le petit cylindre de pulpe obtenu représente la prise d'échantillon que l'on va peser puis faire digérer dans l'eau suivant la méthode Pellet. En 10 heures on peut perforer ainsi avec un seul instrument 2 à 3.000 betteraves.

Le reste de l'opération sera décrit ultérieurement au chapitre analyse, et ne diffère pas de la méthode ordinaire.

Au lieu de se servir du foret-râpe, on peut également utiliser l'appareil Hanriot.

On prélève dans ce cas un échantillon en perçant la betterave de part en part au moyen d'un emporte-pièce (fig. 8) qui enlève un petit cylindre prélevé au premier quart de la hauteur et incliné un peu vers la base. C'est ce petit cylindre qu'on analyse.

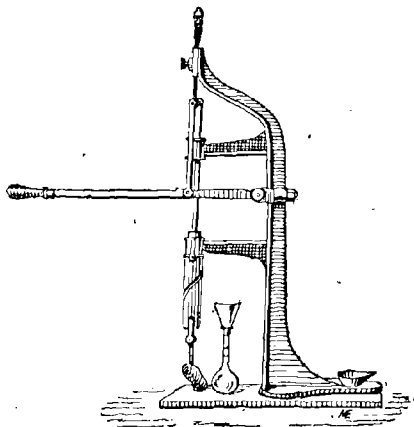


Fig. 8.

Hanriot a construit un petit appareil (fig. 9) destiné à analyser cet échantillon par la méthode Pellet, par diffusion aqueuse à froid instantanée. A cet effet le petit cylindre retiré de la betterave est pesé et introduit dans l'appareil où il est râpé suivant la méthode Pellet, et d'où il sort à l'état de bouillie, sans perte, grâce aux lavages effectués dans

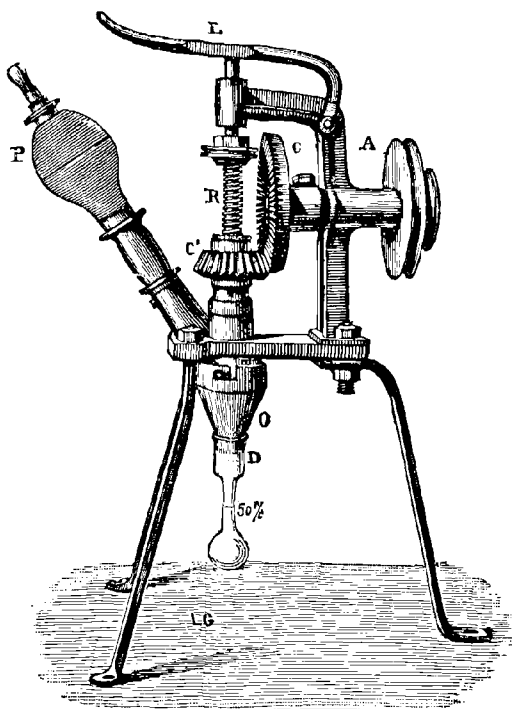


Fig. 9.

l'appareil même, et tombe dans une fiole jaugée. L'opération dure quelques instants seulement, et l'appareil lavé en marche à chaque fois peut servir immédiatement sans arrêt pour une autre analyse. Il est donc fort bien compris, et de fait, Hanriot a pu exécuter avec lui, en mars et avril 1889, 8.000 analyses de porte-graines.

L'appareil se compose sommairement d'une boîte conique en bronze dans laquelle s'engage une noix de même conicité animée d'un mouvement de rotation de 1.200 à 1.500 tours par minute.

La noix est taillée en forme de râpe à bois suivant les indications de Pellet, et la boîte est cannelée à l'intérieur.

Sur le côté, la boîte en bronze porte une tubulure inclinée à 43° ayant le diamètre des cylindres de betteraves à analyser. C'est dans cette tu-

bulure qu'on introduit les cylindres, et qu'on les presse contre la noix qui les râpe. Le poussoir est formé au moyen d'un cylindre creux en acier surmonté d'une poire en caoutchouc remplie d'eau de 40 à 80 centimètres cubes de capacité suivant que l'on fait usage de ballons d'analyse de 50 ou 100 centimètres cubes.

L'eau est maintenue dans la poire au moyen d'un clapet à ressort, de telle sorte que lorsque le poussoir arrive à fin de course, et que le cylindre de betterave est entièrement râpé, il suffit de presser la poire pour en faire sortir l'eau et laver la noix.

Sous la boîte en bronze se fixe un entonnoir métallique O dont le col s'engage dans le ballon d'analyse D, et qui reçoit la râpüre et l'eau de lavage. Tous les détails de cette petite machine sont très bien étudiés et répondent parfaitement aux besoins des opérations pour lesquelles il a été construit.

Au lieu de peser le petit cylindre de betterave, ce qui est toujours long, Pellet a pensé que, en possession d'une sonde bien calibrée donnant des cylindres toujours semblables à eux-mêmes, il suffirait d'en couper une longueur constante pour avoir un poids constant. Ayant donc construit un couteau à deux lames, ces lames bien soutenues pour avoir toujours le même écartement, avec ce couteau il coupa des petits cylindres de betteraves de variétés très différentes, et les pesa. Il trouva sur une assez grande série d'expériences une différence entre la plus forte et la plus faible pesée de 0,35 %. Cette différence, dans l'espèce, étant insignifiante il adopta cette manière de faire, de sorte, qu'avec l'appareil Hanriot, on supprime la pesée de la betterave, ce qui est toujours relativement long, quoiqu'on ne compte pas plus d'une minute avec des mains exercées.

Lorsque l'on a obtenu le jus déféqué, bon à filtrer, les ballons Pellet qui ont servi à ces opérations sont rangés successivement sur une longue table en face d'un nombre égal d'entonnoirs garnis de leurs filtres et placés sur une planche à trous servant de support. Au-dessous de chaque entonnoir est un verre. Pour réduire la longueur de la table on peut établir les entonnoirs sur deux rangs superposés en étagère. A chaque ballon on fixe une pince numérotée, ce numéro correspondant à celui de l'analyse.

Au moment où l'on verse le liquide dans le filtre, on enlève la pince du ballon et on la remet au pied du verre, ce qui évite toute erreur et permet d'enlever immédiatement les ballons pour les envoyer au lavoir.

La dernière opération est le passage au polarimètre. Cette opération serait longue s'il fallait emplir les tubes ordinaires selon la méthode usitée pour les analyses des sucres.

Pellet a imaginé alors son tube continu à siphon (fig. 10). Comme l'échantillonnage des betteraves mères ne donne que 4 gr. 07 de pulpe (1/4 du poids normal) que l'on fait digérer dans 50 centimètres cubes d'eau, Pellet a donné au tube un diamètre intérieur de 5 millimètres de manière à ce qu'il ne contienne que 6 à 7 centimètres de liquide tout en ayant une longueur de 400 millimètres. A chacune des extrémités du tube se trouve une tubulure pour l'introduction du liquide, et aménagées de telle sorte que le liquide en entrant ou sortant balaie la face du verre. A l'une des tubulures on fixe un petit bout de tube en caoutchouc qui se continue par un court tube en verre. A l'autre, on fixe un tube en caoutchouc beaucoup plus long muni d'une pince de Mohr. Le tube est ainsi placé sur le saccharimètre.

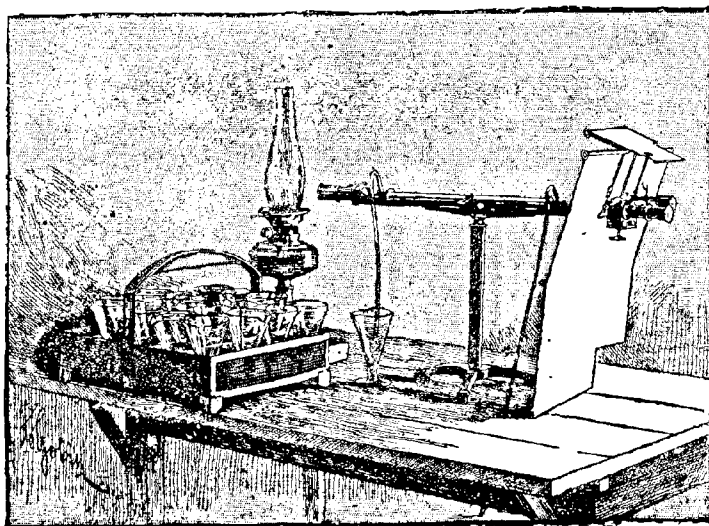


Fig. 10.

On conçoit que si le tout est plein de liquide, le système forme un syphon, et qu'il suffira d'ouvrir la pince pour syphoner un liquide que l'on présenterait à l'autre extrémité.

Ceci posé voilà comment on opère. L'opérateur étant devant son saccharimètre, ayant près de lui son registre, un aide apporte un des verres contenant le liquide à polariser, et le place sous la petite branche du syphon, qui est, comme nous l'avons dit, un petit tube de verre que l'on plonge dans le liquide.

L'aide ouvre la pince de Mohr. Le liquide pénètre dans le tube. Quand il y a fait passer presque tout le contenu du verre, soit 25 à 35 centimètres cubes, le liquide qui était précédemment dans le tube est

complètement balayé à cause de la petite dimension du système. L'opérateur met au point, lit sur l'échelle, et pendant qu'il inscrit le chiffre trouvé, un autre aide apporte le verre suivant, et répète le même manège.

On conçoit que, avec un opérateur expérimenté, on puisse faire ainsi un nombre considérable d'observations. En effet, un seul polarimètre peut faire 1.200 à 1.800 analyses en 10 heures. Mais il faut remplacer celui qui regarde à la lunette au moins toutes les heures. Comme on arrive vite à former un bon polariseur avec les saccharimètres dont on dispose aujourd'hui, ce sont les aides qui doivent pouvoir se remplacer à l'appareil quand l'un d'eux est fatigué.

Pour faire 3.000 analyses par jour, il faut, dans le laboratoire seulement, de 20 à 25 personnes. Pour faire 5.000 analyses il faut au plus 30 personnes, et pour 10.000 environ 56. Pellet calcule d'après cela qu'une analyse revient de 0 fr. 025 à 0 fr. 035 suivant le prix de la main-d'œuvre.

Avec l'appareil Hanriot, sans pesée, il faut, pour faire 5.000 analyses, 20 personnes au lieu de 30 et l'analyse revient de 0 fr. 020 à 0 fr. 030.

Pellet résume ainsi les résultats d'une sélection (1) :

« Sur 30.159 pieds mis de côté à l'arrachage, on a eu lors de la sélection :

8.434	pieds pour défaut de forme ou.	27,9	0/0
5.998	— pesant moins de 550 gr.	19,9	
4.647	— — plus de 550 gr. titrant moins de 13 0/0.	15,4	
6.512	— — — titrant de 13,5 à 15 0/0.	20,5	
3.207	— — — — 15 à 16 0/0.	10,6	
1.721	— — — — plus de 16 0/0.	5,7	
20.159		100,0	

« Sur 4.464 pieds on a eu :

Richesse	Nombre de racines		
7 à 8.	1	soit	0,20 pour 1000
8 à 9.	8		1,79 —
9 à 10.	39		8,73 —
10 à 11.	467		104,61 —
11 à 12.	723		161,94 —
12 à 13.	1.078		241,48 —
13 à 14.	1.043		233,64 —
14 à 15.	747		167,34 —
15 à 16.	303		67,87 —
16 à 17.	49		10,97 —
17 à 18.	4		0,89 —
18 à 19.	1		0,20 —
19 à 20.	1		0,20 —
	4.464		1000,00

1. *Traité de la Fabrication du sucre*, par Beaudet, Pellet et Raimbert.

§ 4. — Écart des racines.

Les cultivateurs ayant remarqué que plus leurs betteraves étaient espacées et plus elles étaient grosses, avaient l'habitude de mettre jusqu'à 75 centimètres entre les lignes, et 50 entre les pieds. Ils avaient ainsi, en effet, de grosses racines et un bon rendement quand l'année était bonne, mais peu de sucre.

Quand l'année était mauvaise, les manques étaient nombreux, et leur récolte très faible. La nécessité de faire des betteraves sucrées a fait rechercher les meilleures conditions à remplir pour rémunérer le cultivateur et le fabricant.

On a remarqué que plus faible était la distance entre les pieds de betterave, plus riche était la racine et plus forte était la récolte. Voici, en effet, une série d'expériences faites par M. Pagnoul dans le Pas-de-Calais.

Les premières betteraves étaient semées à 33/25 centimètres, les secondes à 50/33. On a obtenu les résultats remarquables suivants :

	Petite distance	Grande distance.
Sucre 0/0	11,4	9,8
Sels alcalins 0/0.	0,604	0,760
Rendement en poids à l'hectare .	43,200	35,700
— en sucre à l'hectare .	5,000	3,500

Ladureau, à la Société industrielle du Nord, a fait connaître un essai analogue ; il avait trouvé que l'écart des betteraves dans les lignes de 40 centimètres et entre les plans de 25, a produit 20 % de plus en poids que l'écart de 40/40 ; le jus pesait 3/10 de degré en plus, soit 1/2 % de sucre en plus.

Tout est donc à l'avantage des petites distances. Les racines, il est vrai, sont plus petites, leur poids de moins de 1 kilogramme, mais leur nombre en est double et leur poids total plus fort. Enfin, ces petites betteraves contenant moins de sel sont moins épuisantes pour le sol, et conséquemment plus avantageuses pour le fabricant et le cultivateur. Les distances de 25 centimètres entre les plans, 33 à 45 entre les lignes sont les meilleures, et tout cultivateur soucieux de ses intérêts et de ceux de l'industrie qui les fait vivre devra s'y astreindre.

L'usage des petites distances a fait faire plusieurs remarques utiles, entre autres à propos des engrais. Nous venons de dire que les betteraves ainsi produites, épuisent moins le sol, étant moins enfoncées en terre et moins chargées de sel. Mais on s'est aperçu aussi que l'influence fâcheuse exercée par un excès d'engrais mal choisi, comme le nitrate

de soude par exemple, tout en étant nuisible à la production en sucre était cependant beaucoup moins sensible sur les betteraves serrées que sur celles qui ne l'étaient pas.

Comment expliquer ces phénomènes ? Nous avons vu que les betteraves étaient formées de deux tissus en couches concentriques, l'un cellulaire, et l'autre vasculaire, et que c'est dans le tissu vasculaire que circule le jus sucré, ce qui fait qu'une betterave coriace comme l'améliorée de Vilmorin, est plus riche qu'une betterave rouge, où le tissu cellulaire est très abondant. C'est le tissu cellulaire qui réclame pour se développer le plus d'eau et d'engrais. Or, dit Dehérain, quand on sème des betteraves à de faibles distances, on en fait vivre un plus grand nombre sur une surface donnée, c'est-à-dire que l'on diminue la part d'eau et d'engrais qui revient à chacune d'elles ; il est donc naturel que la végétation soit moins vigoureuse, et que le tissu qui exige pour sa croissance le plus d'eau et de matière azotée, soit celui qui souffre d'avantage dans son développement. Donc, en rapprochant les plans, on favorise la croissance du tissu sucré, aux dépens de celui qui l'est moins, ce qui explique la supériorité de ce genre de culture sur celui qui était employé anciennement.

§ 5. — Semence.

Quant à la *quantité de semence à employer*, elle est variable avec le mode de semer, la distance des plants et le semoir que l'on emploie. On remarque que si l'on adopte le maximum de rapprochement 25/33 on obtiendra environ 121.000 racines par hectare. Or comme on sème 3 ou 4 graines par chaque pied que l'on veut obtenir il faudra donc environ 480.000 graines. Si l'on pèse 1 kilogramme de graines qui représente à peu près quatre litres, on y compte environ 48.000 graines. Il faudra donc employer par hectare au moins 10 kilogrammes de graines. L'usage a consacré ce nombre que l'on porte jusqu'à 18 kilogrammes dans certains cas.

§ 6. — Façons.

La betterave commence à lever ; elle montre déjà deux petites feuilles ; à côté d'elle croissent plus dru quelques mauvaises herbes qui enlèvent à la couche supérieure du sol les matières nutritives utiles à la betterave. On doit de suite commencer un premier binage à la main, pour bien nettoyer la superficie de la terre, l'aérer et l'ameublir entre

les lignes. On doit choisir autant que possible un temps sec à cet effet.

Trois semaines ou un mois après, les racines sont devenues vivaces ; quatre feuilles déjà longues sont bien développées ; l'herbe a crû plus fort encore que la racine ; on fait un deuxième binage à la main ou à la houe à cheval. Ce binage est un des plus importants. Quand le sol est bien propre on voit que déjà les racines se gênent entre elles. C'est le moment d'effectuer le *démariage* ou *dégarnissage* ou bien encore *éclaircissage*. On arrache alors de chaque touffe toutes celles qui paraissent les plus faibles, ne laissant qu'un seul pied aux distances convenables. On profite souvent de cette occasion pour faire des repiquages dans les endroits où l'on rencontre des manques ; mais les betteraves repiquées sont loin d'avoir la même vitalité que les autres, et la raison en est bien simple. Lorsque l'on arrache une racine à cette époque de sa vie, on remarque que déjà un long pivot a pénétré le sol, et que souvent l'extrémité se casse dans la terre. Or on ne peut en repiquant planter la jeune racine dans les conditions dans lesquelles elle a déjà poussé ; les radicelles sont repliées sur elles-mêmes au lieu de s'épandre tout autour au loin, et, avant qu'elles aient repris leur essor, les betteraves voisines auront déjà beaucoup profité, laissant les repiquages en retard, et les gênant même par la présence de leur réseau.

Enfin les feuilles s'élargissent sur le sol et mettent les betteraves à l'abri des ardeurs du soleil de juillet et d'août. Bientôt, elles vont se rejoindre d'une ligne à l'autre. Avant ce moment, il faut donner un troisième binage pour détruire les dernières herbes qui ne reparaitront plus d'ailleurs que difficilement à l'ombre du feuillage épais des betteraves. Ce binage aère la terre et permet aux gaz d'en sortir, à l'humidité d'y pénétrer. Alors les feuilles s'élargiront, conserveront sous leur verdure la fraîcheur nécessaire à la terre, et la betterave mûrira jusqu'à l'arrachage. Les feuilles croissent jusqu'au 15 août environ, moment où elles acquièrent leur maximum de poids. Jusqu'à cette époque la betterave végète, et elle ne se développe guère en poids et en sucre qu'à partir de ce moment ; en effet, avant le 15 août, la betterave contient le maximum de matières salines et le minimum de sucre, tandis qu'il en est le contraire vers le 15 octobre.

Les cultivateurs ont souvent la mauvaise habitude d'effeuiller leurs betteraves pour en faire la nourriture de leurs bestiaux. Cette pratique est mauvaise pour plusieurs raisons. La première est que la racine privée de ses feuilles ne végète plus comme si elle en était pourvue ; elle souffre à peu près comme une personne adulte privée subitement de l'usage d'un poumon ; de plus l'absence de feuilles permet au soleil de dessécher la terre autour des racines qui deviennent bouteuses. Enfin

en second lieu la feuille de betterave est très débilitante pour les animaux. Nous nous sommes d'ailleurs étendus sur cette question dans un chapitre précédent.

§ 7. — Récolte.

L'automne est arrivé, les grandes chaleurs cessent, la végétation éprouve un ralentissement rapide. Les feuilles des betteraves jaunissent et pendent autour des racines, débiles et sans utilité. Le moment de l'arrachage est arrivé.

Armés de bèches spéciales, les tâcherons soulèvent avec soin les racines et les sortent de terre ; des femmes suivent munies de bons couteaux et coupent le collet des betteraves à plat et au ras des dernières folioles. D'autres ouvriers enfin les amoncellent dans le champ en petits tas que l'on chargera plus tard sur les tombereaux. Dans le cas où cette dernière opération devrait se faire attendre, où l'on craindrait le hâle ou la gelée, les tas auront un mètre de haut et seront recouverts de terre et de feuilles, avec une rigole pratiquée circulairement au pied pour faciliter l'écoulement des eaux de la pluie qui pourrait les avarier, les faire pourrir.

Il est nécessaire pour l'arrachage d'opérer par le beau temps, car les racines seront alors propres et sèches, faciles à séparer de la terre qui les entoure.

Une portion des racines est emportée de suite à la fabrique ou à la bascule qui lui est assignée : l'autre est emmagasinée sur place en tas, comme nous l'avons dit, ou en silos. Parfois, comme en Russie, les silos sont attenants à la fabrique même et toute la récolte est livrée avant l'hiver. Chaque usine suivra en cela le procédé qui lui paraîtra le plus profitable.

§ 8. — Résumé.

Nous résumerons ainsi avec Corenwinder les conditions nécessaires pour avoir de bonnes betteraves donnant un rendement favorable en poids et en sucre, par la méthode de culture à plat :

1° Cultiver autant que possible sur de vieux engrais, c'est-à-dire sur un engrais appliqué sur une récolte précédente de céréale, ou tout au moins reporter son fumier dans le sol longtemps avant l'hiver, le diviser le plus possible, et l'enfouir par des labours profonds judicieusement opérés. Laisser reposer la terre pendant la morte saison, et ne lui donner au printemps que des façons superficielles.

2° Au printemps appliquer les engrais supplémentaires.

3° Ne pas abuser des matières fertilisantes et éviter particulièrement d'appliquer des engrais liquides ou pulvérulents pendant le cours de la végétation. Dans un sol fumé récemment, la betterave ne cesse de croître et de se développer et n'a pas atteint sa maturité au moment où l'on doit la conduire aux fabriques.

4° Ne jamais faire parquer les moutons, même longtemps avant de préparer la terre pour la betterave.

5° Se procurer une graine issue d'une variété riche en sucre et améliorée par la sélection artificielle.

6° Semer de bonne heure, surtout dans une terre fertile, afin que les racines puissent arriver à maturité. On évite ainsi la sécheresse, les insectes, et les racines ont déjà des feuilles quand vient le soleil ardent.

7° Semer en lignes espacées de 40 centimètres au plus, les plants étant à 25 centimètres environ l'un de l'autre. Ces distances permettent d'obtenir 90.000 à 100.000 betteraves à l'hectare, de 6 à 800 grammes, soit 60 à 80.000 kilogrammes à l'hectare.

8° Nettoyer les champs après que les betteraves sont levées et ont pris un certain accroissement, sans attendre qu'elles soient étouffées par les mauvaises herbes.

9° Démarier les betteraves avec précaution, c'est-à-dire ne pas déchausser celles qui sont destinées à rester en terre. Faire cette opération le plus tôt possible.

10° Donner, même après avoir nettoyé la terre, quelques binages assez vigoureux entre les lignes afin de favoriser l'émanation de l'acide carbonique confiné dans le sol, et le mettre à la portée des feuilles.

11° Ne pas faire revenir trop souvent la betterave sur le même sol et, si on la cultive après certains végétaux, comme le tabac, ne pas semer une variété dégénérée ayant une tendance à grossir outre mesure.

Enfin nous terminerons en faisant les remarques suivantes dues à Frémy et Dehérain, et qui peuvent guider sur le choix des terrains et des engrais :

1° La nature chimique du sol, argileuse, siliceuse ou calcaire, ne paraît pas exercer une influence considérable sur la richesse saccharine de la betterave.

2° Dans un sol stérile, mais bien pourvu d'humus, et n'ayant reçu comme engrais que du nitrate de potasse et du phosphate de chaux, (ou tel engrais approprié signalé plus haut) il est possible d'obtenir de bonne betterave.

3° Un excès d'engrais azoté nuit à la formation du sucre dans les betteraves.

§ 9. — Prix de revient de la betterave pour un hectare de bonne terre.

Quoique cette question soit fort complexe et tout à fait variable avec les conditions particulières d'établissement de chaque usine, nous donnerons cependant quelques aperçus sur la manière dont les cultivateurs peuvent se rendre compte du prix de leur travail. Payen donne comme il suit le prix de revient de la betterave, pour un hectare rapportant 30 à 45.000 kilogrammes de betterave, dont les feuilles tombées et les racines restées en terre représentent environ 4.800 kilogrammes de fumier.

Les feuilles et têtes provenant de l'évétage pèsent 5 à 8.000 kilogrammes et valent 50 à 80 francs. Ce rapport couvre certains frais de culture.

Loyer, impôts, intérêts	115 fr.
Engrais	130 »
Deux labours, deux hersages	86 »
Ensemencement	18 »
Sarclage, binage	35 »
Arrachage, transport	36 »
Total.	420 fr.

Ce qui fait que 1.000 kilogrammes de betteraves valent 9 fr. 50 c. à 14 francs. Dans les contrées où la main-d'œuvre est chère, ce prix s'élève à 16 ou 17 francs.

En effet, voici d'autres nombres de date plus récente, recueillis de diverses parts, et qui tiennent compte, mieux que les précédents, de toutes les phases du travail.

Soit pour une récolte de 40.000 kilogrammes à l'hectare :	
Loyers, impôts, intérêts de 1 hectare	115 fr. (?)
Engrais (30.000 kil. de fumier + 600 kil. engrais chimiques) pour 3 ans, soit par an	256 »
Epannage du fumier	5 » 25
— de l'engrais chimique	15 »
Deux labours, deux hersages, roulage	90 » (?)
Ensemencement	12 » 50
Hersage et roulage	8 »
1 ^{er} binage	15 »
2 ^e —	13 »
3 ^e —	12 »
Démariage	5 »
Arrachage	18 »
Chargement sur tombereau (15 c. les 1.000 kil. pour 40.000 kil.)	6 »
Transport à 3 kil. en moyenne (2 fr. les 1.000 kil.)	80 »
Subvention industrielle (0 fr. 20 par tonne kilométrique)	24 »
Ensilage (0 fr. 25 c. les 1.000 kil.)	10 »
Façons des silos (mémoire)	
Total.	684 fr. 75

Il revient de tout cela sur le compte du cultivateur seulement 564 fr. 75 c. pour 40 tonnes de betterave, ce qui porte la tonne à 14 francs environ sur place ou 16 francs rendue à l'usine. En doublant la valeur des loyers, impôts et intérêts, les portant à 230 francs, la betterave revient à 19 francs. Or tous ces prix sont ceux que l'on obtient par le travail à la main ; si l'on substitue aux hommes des machines, comme le font la plupart de nos cultivateurs, le prix des betteraves revient de 15 à 18 francs au maximum, rendues à l'usine par chariot et à 3 kilomètres. Enfin, au lieu de 40 tonnes si l'on en obtient 60 ou 80 par hectare, le prix de revient est singulièrement diminué encore.

Voici un aperçu des économies réalisées par les machines pour le travail des champs.

<i>Semoirs.</i> Le semage à la main de 1 hectare de betterave coûte . . .	12 fr. 50
Suivi d'un hersage et roulage coûtant	8 —
Total	20 fr. 50

Un semoir coûtant 180 francs, par exemple, on a :

Intérêt, amortissement, réparation 25 0/0 de la valeur par an, soit	
45 francs pour 20 hectares ensemencés, soit par hectare . . .	2 fr. 25
Le hersage et le roulage sont supprimés.	

Économie par hectare	18 fr. 25
--------------------------------	-----------

Bineuses. Trois binages à la main coûtent 35 fr.

Une bineuse coûte 200 francs ; on a :

Intérêt amortissement, réparation, soit 25 0/0	
de la valeur	30
Usure	40
	70

Soit par hectare	3,50
----------------------------	------

Une bineuse demande : 1 homme, 1 enfant,
1 cheval et travaille par jour 2 hectares 1/2

coûtant :

1 cheval	5 fr.
1 homme	3 —
1 enfant	1,50
	9,50

ou par hectare	3,80
--------------------------	------

Donc trois binages coûteront	11,40
--	-------

Dépense pour trois binages	14,90	14,90
--------------------------------------	-------	-------

Economie sur le travail à la main		20,1
---	--	------

Arracheuses. Ces machines coûtent 225 francs, ne travaillent que sur une ligne ; donc l'intérêt, amortissement, etc., reviennent à 45 francs, soit par hectare 2,25

Elles demandent : 2 chevaux, 1 homme, 1 enfant 14,50

Total	16,75
-----------------	-------

- Le travail à la main ne coûte que 16 francs. Il n'y a donc aucune économie à ce travail.

Culture en billons. — Nous venons de décrire le mode de culture généralement employé en France. Mais il en est un autre fort anciennement connu, qui donne pour la betterave des résultats remarquables dans certaines contrées, au point de vue de la richesse en sucre et du rendement en poids, nous voulons parler de la culture en *billons* ou *ados*. Cette méthode consiste à former sur les champs des sillons profonds relevant la terre de chaque côté de ces sillons de telle sorte que les betteraves semées au sommet des terres relevées trouvent une épaisseur beaucoup plus considérable de terre arable que dans la culture à plat, en même temps qu'un sol plus meuble. Là ne sont pas les seuls avantages que procure la formation des billons, et pour s'en rendre compte il faut rechercher, comme l'a fait Champonnois, le grand promoteur de cette culture, quels sont les phénomènes principaux qui régissent la croissance des plantes en général et des betteraves en particulier.

La betterave se compose de deux organes principaux, les feuilles et la racine, l'un qui puise dans l'atmosphère les principes nutritifs qu'elle contient, l'autre qui emprunte au sol ses sucs et se les assimile. La racine elle-même se compose d'un corps principal pivotant et d'une infinité de radicules qui en partent et vont fouiller la terre pour nourrir le corps de la racine. C'est sur ces radicules que nous attirerons pour le moment l'attention des lecteurs, et sur leur mode d'opérer. En effet, lorsque l'on cultive la terre, qu'on l'ameublisse, qu'on la fume, c'est pour fournir aux radicules un terrain facile à percer de toutes parts pour y puiser leur aliment. Mais si l'on fait une section du sol parallèlement à l'axe d'une betterave, que l'on suive la marche des radicules, on verra quelle propulsion elles ont à remonter vers le sol, à gagner les parties aérées. Les radicules ont besoin non seulement d'humidité, mais encore d'air comme les feuilles, et les binages répétés que l'on fait dans la culture à plat le prouvent bien, puisque plus ces binages sont nombreux et bien faits, mieux pousse la racine. C'est ainsi également que l'on remarque que les plantes qui poussent dans les pots de terre émettent vers le pourtour un réseau inouï de radicules enchevêtrées, parce qu'entre la terre et le pot, et à travers la terre poreuse du pot lui-même, l'air vivifiant pénètre plus abondant qu'en tout autre lieu. Or, la culture en billons offre à un haut degré la possibilité d'aérer le sol dans une large mesure, car la forme ondulée qu'il prend en multiplie considérablement la surface, et de plus les radicules arrivent vite au niveau aéré, ce qui permet à la plante d'employer ses forces vives à la croissance de

sa racine et non à pousser, dans un terrain peu approprié, ses radicales jusqu'au point où elles peuvent travailler le mieux.

On conçoit donc que, dans la culture en billons, la betterave ait plus de facilité à croître en volume et en longueur. Or, il en est des plantes comme des animaux; si la plante se porte bien, si elle trouve autour d'elle des aliments choisis et toutes les conditions de facile assimilation, elle sera plus docile aux efforts du cultivateur; si donc le cultivateur, par un engrais approprié, par un rapprochement convenable des plans, veut pousser la betterave au sucre, il y réussira mieux avec la culture en billons qu'avec la culture à plat, et c'est ce que l'expérience confirme pleinement; tellement que tous les essais faits en grand par Champonnois depuis déjà fort longtemps, ceux faits en petit plus récemment par lui et d'autres agronomes sont venus complètement à l'appui de ces faits théoriques, et qu'en Autriche ce mode de culture a eu de nombreux adeptes.

De tout cela il résulte que dans la culture en billons il faut d'abord parfaitement ameublir la terre, former les billons de manière à ce qu'ils soient aussi solides que possible, les plomber fortement puisque l'on sait déjà que le plombage du sol est une condition importante d'une bonne levée des graines, et ensuite lorsque la betterave aura commencé à pousser, remplacer les binages par un grattage très fréquent de la surface des billons destiné à briser la croûte qui empêche à l'air de pénétrer jusqu'aux radicales, en prenant la précaution de relever vers le collet des betteraves la terre ainsi enlevée de manière à ne pas combler le sillon, et à rendre au billon sa forme lorsque les pluies l'auront un peu déformé.

Voici les règles indiquées par Champonnois lui-même comme les meilleures pour la culture en billons. (*Agriculture pratique.*)

« Théoriquement on pourrait dire que plus le billon sera élevé mieux il vaudra. Son élévation dépend naturellement de la distance adoptée entre deux crêtes ou sommets.

« Avec 0^m,80, les instruments spéciaux de binage à cheval peuvent fonctionner, et on aurait rarement avantage à dépasser 1^m,20. Pratiquement, cette distance est donc comprise entre 0^m,80 et 1^m,20.

« Après les travaux préparatoires d'automne en labours et en fumures, la construction au butoir ou à la charrue commence, soit pendant l'hiver dans les terres fortes ou humides, afin de les assainir et de profiter des gelées pour leur ameublissement, soit au printemps dans les terres légères, trois semaines environ avant la semaille.

« La première opération doit tendre à donner au billon son maximum de hauteur. On le laisse en cet état pendant le reste de l'hiver dans le premier cas, et pendant huit ou dix jours dans le second.

« Dès que la terre, suffisamment ressuyée, quoique fraîche, n'adhère plus aux instruments, on crête au moyen d'un rouleau pesant; on reforme immédiatement le billon, puis, à quelques jours d'intervalle, selon l'état de l'atmosphère et du sol, on donne un roulage, et on procède ensuite à la semaille dans les circonstances convenables.

« Dans cette série d'opérations préparatoires qu'on peut répéter au besoin une troisième et une quatrième fois, l'important est de plomber fortement la crête qui recevra la semence, de consolider la forme, et d'assurer ainsi pendant le cours de la végétation, le maintien de la fraîcheur du sol par la capillarité. »

Une des points importants et remarquables de la culture en billons est l'efficacité qu'elle procure, pour la production de betteraves à grand rendement en poids et en sucre, à l'emploi des engrais chimiques en couverture. Cet engrais, et Champonnois fait usage de l'engrais complet formule G. Ville, permet à la jeune plante de lever et de se fortifier rapidement, de telle sorte qu'elle peut de suite lutter contre les intempéries et les insectes. De plus, à cause de la forme même des billons et des fréquentes façons données à leur surface, l'engrais en couverture se trouve mélangé plus intimement avec le sol et ses effets n'en sont que plus parfaits, sans avoir l'inconvénient de pousser au poids au détriment du sucre comme font les engrais apportés sur le champ en pleine végétation de la betterave. Aussi Champonnois recommande-t-il chaudement l'emploi des engrais pulvérulents, et mêmes liquides, en couverture au moment des semailles. Voici donc la manière dont on peut cultiver les champs d'après cette méthode :

La terre étant préalablement fumée à l'engrais ordinaire (fumier de ferme);

Les billons écartés de 0^m,80 et la distance entre les plants étant de 11 centimètres, soit environ 11 betteraves au mètre carré;

L'engrais employé en couverture étant l'engrais chimique dit engrais complet (formule de Georges Ville) et la dose d'une fumure complète en couverture de 1.200 kil. à l'hectare;

Donner régulièrement toutes les semaines un hersage à la surface des billons pendant tout le temps que les betteraves ont besoin de soins, soit à partir de la seconde quinzaine d'avril jusqu'à fin août et partie même de septembre.

Ce mode de culture, en supposant qu'il n'y ait pas de manque, donnerait à raison de 11 pieds par mètre carré 110.000 racines à l'hectare, en supposant, ce qui est dans la généralité des cas, que chaque racine pèse 850 grammes, on aurait un rendement de 90.000 kil. à l'hectare. Or, il ressort des essais de culture faits dans ce sens par Champonnois,

que l'on atteint facilement cet énorme rendement en poids avec des betteraves ayant une richesse en sucre de 13,50 et un quotient de pureté de 83; qu'avec des betteraves plus productives en poids on va jusqu'à 100.000 kil. avec une richesse de 6,91 en sucre, 66,69 de quotient de pureté; et qu'avec des betteraves productives en sucre on obtient 67.000 kil. à l'hectare avec une richesse de 14,90 et un quotient de pureté de 83,94.

Ces nombres, obtenus à une époque où la betterave n'avait pas la richesse de nos jours, en disent assez pour assurer le succès de la méthode. Cependant voyons ce que coûte la culture en billons, et pour cela reportons-nous aux points indiqués par un grand agriculteur, Decrombecque, qui a fait sur une vaste échelle ce mode de culture.

Le grattage entre les billons, l'opération principale de la méthode, que l'on doit répéter si souvent, au moins 20 fois pendant la maturation de la betterave, n'est pas dispendieux si l'on fait usage d'instruments appropriés. Decrombecque employait les sarcleuses Howard et un assemblage de chaînes formées de mailles à dents qu'il traînait simplement entre les billons. Ce grattage ou sarclage se faisait au moyen de ces instruments en six façons, soit :

4 hersages à 1 fr. 50 c. par hectare	6 fr.
Un binage avec le billonneur garni de rasettes	4 »
Un remontage léger au billonneur	4 »
	<hr/>
	14 fr.

Mais il n'est pas utile de donner chaque fois, soit tous les huit jours des façons aussi multiples, et si l'on compte 20 fois par exemple le passage à la sarcleuse Howard avec chainage, cotés plus haut 1 fr. 50 c., on voit que ce travail multiplié ne coûte que 30 francs, et qu'avec des instruments plus parfaits, remontant du même coup le billon, ces 30 francs de façon suffiront pour les 20 binages recommandés par Champonnois. Or, chez Decrombecque, les binages et sarclages réclamés par la culture à plat étaient comptés 40 ou 50 francs. La culture en billons coûte donc moins cher.

Il en est de même pour l'arrachage extrêmement facile de la betterave cultivée en billon qui ne revenait qu'à 25 fr. 40 c. tandis qu'elle coûtait 52 fr. 50 c. dans la culture à plat.

Il reste donc entre la culture en billons et la culture à plat un écart de 40 francs environ au profit de la première. Or, si l'on tient compte d'une somme de 14 ou 15 francs de travail supplémentaire, hersage ou grattage complet, en sus de celles susmentionnées, d'un supplément dans le prix des premières façons et dans celui de l'épandage du fumier

en couverture, on peut supposer que le chiffre total des frais des deux cultures s'équivaudront.

La culture en billons ne coûtera donc pas plus cher que la culture à plat, mais son rendement sera de beaucoup plus profitable au cultivateur et au fabricant.

Reste la question du prix des 1.200 kil. d'engrais G. Ville répandus en couverture et qui reviennent environ à 360 francs. Pour le cultivateur qui ne fait pas usage ordinairement d'engrais chimique, c'est un surcroît de frais qui se paiera par une fraction du surcroît de récolte ; car si au lieu de 50.000 kil. à l'hectare on en obtient 90.000, c'est sur les 40.000 excédant que se paiera l'engrais chimique, et la différence sera en réalité la plus-value que retirera le cultivateur de la culture en billons sur la culture à plat.

Malgré tous ces avantages, la culture en billons, un peu plus délicate que l'autre, ne s'est conservée que dans certaines contrées peu nombreuses et qui en tirent d'excellents profits.

CHAPITRE TROISIÈME

RÉCEPTION DE LA BETTERAVE

§ 1. — Transports.

Les transports d'une fabrique sont nombreux; c'est ainsi qu'on évalue, pour une fabrique de 12 millions de kilogrammes, la quantité de travail de ce genre à effectuer égale à ce qui suit :

	Minimum.		Maximum.	
Betteraves	12.000	tonnes.	12.000	tonnes.
Pulpes 20 %	2.400	—	22 %	2.640 —
Écumes 6 %	720	—	7 %	840 —
Sucres 5,5 %	600	—	6 %	720 —
Mélasse 2,9 %	350	—	3,3 %	396 —
Charbon 20 %	2.400	—	25 %	3.000 —
Pierre à chaux 1 %	120	—	3 %	360 —
Total	18.650	—		19.956 —

Voitures. — Les voitures fournissent un mode de transport avantageux quand les distances à parcourir ne sont pas plus grandes que 3 kilomètres, soit 6 kilomètres aller et retour, ce qui permet de faire quatre voyages par jour.

Dans ce cas, on établit ainsi le prix de revient :

Pour 6 kilomètres de parcours avec un poids de 4.000 à 8.000 tonnes par jour.

Dépense pour 100 jours de fabrication :

		Pour 4.000 tonnes.	Pour 8.000 tonnes.
Capital	18 bœufs à 500 fr. 9.000 10 chevaux 600 » 6.000 5 chariots 1.000 » 5.000	20.000	40.000
Dépenses	18 bœufs à 1 fr. 50 par jour 2.700 10 chevaux 3 fr. 3.000 5 chariots 3 fr. 1.500		
Entretien, réparation, Amortissement 10 % pour 100 jours	550	7.950	15.900
Soit par tonne de betterave . . .	1 fr. 9875		
— kilométrique	0 fr. 3313		

De plus, subventions industrielles 0 fr. 20 c. par tonne kilométrique.
Voici maintenant un aperçu de ce que deviennent les prix avec différents modes de transport :

POIDS A TRANSPORTER — PRIX DE REVIENT :	4.000 TONNES			8.000 TONNES		
	Laps de temps (jours)	1.000 kil. de betteraves	Par tonne kilométrique	Laps de temps (jours)	1.000 kil. de betteraves	Par tonne kilométrique
Avec chariot (transport ordinaire)	100	fr. 1,9875	fr. 0,3313	100	fr. 1,9875	fr. 0,3313
Chemins de fer (traction de chevaux)	»	1,7758	0,2961	»	1,3600	0,2170
Chemins de fer (traction de locomotive)	»	»	»	»	1,6000	0,2650
Câble Hodgson	50	2,6375	0,4395	»	1,7395	0,2895

On voit donc que c'est dans tous les cas le chemin de fer à cheval qui est le plus économique pour cette courte distance, économie qui augmente avec le poids des transports à effectuer. Cependant le câble Hodgson présente une économie réelle pour les poids de 8.000 tonnes sur le transport par les voitures. De plus, les calculs sont faits pour les chemins plats ; la moindre rampe change toutes ces données, quant aux transports par chevaux, et ne modifie en rien celle des câbles qui passent à travers monts et vallées sans aucune difficulté.

Câble Hodgson. — Voici comment on calcule le prix du transport par le câble Hodgson pour 6 kilomètres.

Matériel 6 kilom. à 12.000 fr. le kil.	72.000 fr.	72.000 fr.
	<u>4.000 tonnes.</u>	<u>8.000 tonnes.</u>
Charbon 500 kil. par jour à 12 francs.	600	1.200
Un ouvrier chauffeur mécanicien à 4 francs par jour	200	400
Deux cantonniers à 2 fr. 50	250	500
Huile, graisse	300	600
Entretien, réparation du câble	2.000	4.000
Amortissement 10 0/0.	7.200	7.200
	<u>10.550</u>	<u>13.900</u>
Soit par tonne	2,6375	1,7395
— par tonne kilométrique	0,4395	0,2895

Câble Provins. — Lorsque l'on n'a que quelques centaines de mètres à parcourir, on emploie les petits chemins de fer légers ou le câble Provins. Ce dernier, pour 120.000 kilogrammes à transporter à 200 mètres pendant 24 heures, demande 2 hommes et 1 gamin.

Prix de revient :	0,45	par 1.000 kilogr.	à une distance de 200 mètres.
Frais d'installation :	1,400	pour une distance de	. . . . . 200 —
—	1,600	— —	. . . . . 300 —
—	1,800	— —	. . . . . 400 —

De 100 à 140 mètres ce véhicule est très commode et très économique, le câble étant en fer ou acier et les frottements étant uniquement de roulement, il n'y a presque pas d'usure.

Chemins de fer à traction de chevaux. — Prenons pour type un chemin de fer dont la voie ait un écartement de 0 m. 60. On adoptera soit le modèle de rail à deux bourrelets, soit le rail Vignole. Voilà ce que coûte à établir sur route ces deux systèmes de rails.

1° Rails à deux bourrelets à 8 kilogrammes le mètre courant :

16.000 kil. de rails à 15 fr. les 100 kilogr.	2.400 fr.
4.800 kil. coussinets à 14 » —	672 »
1.200 billes en chêne à 0,45 —	540 »
Terrassements, transports, balast, clous, coins, frais de pose.	700 »
Total par kilomètre	<u>4.312 fr.</u>

2° Rails Vignole de 9 kil. le mètre courant :

18.000 kil. de rails à 15 fr. 50 les 100 kilogr.	2.790 »
1.200 billes en chêne à 0,45 —	540 »
Terrassements, ballast, etc., frais de pose	750 »
	<u>4.080 fr.</u>

Le rail Vignole offre donc une économie sur l'ancien modèle de rail à double champignon.

Nous supposons la voie devoir coûter 4.500 francs, pour prendre un prix fort, et les wagonnets 220 francs. Voici ce que coûteront les transports :

	4,000 tonnes.		8,000 tonnes.
Voie : 6 kil. à 4.500 fr.	27.000 fr.		27.000 fr.
Wagons : 30 »	6.600 »	60	13.200 »
Chevaux à 600 fr. 4 »	2.400 »	8	4.800 »
Constituant un capital de.	<u>36.000 fr.</u>		<u>45.000 fr.</u>

Chevaux coûtant 3 fr. par jour 4 .	1.200 fr.	8	2.400 fr.
Charretiers à 3 fr. 2 .	600 »	4	1.200 »
Cantonniers . . . 2 .	500 »	2	500 »
Huile, entretien	1.200 »		1.800 »
Amortissement.	3.600 »		4.500 »
<hr/>			
Total des frais d'exploita- tion	7.100 fr.		10.400 fr.
Soit par tonne de betterave	1,775		1,300
— kilométrique	0,299		0,217

Il n'y a pas de subvention industrielle, mais on est obligé de louer le terrain sur lequel on passe. Il y a donc une grande économie sur le transport par voiture quand on dépasse 3 kilomètres.

Porteurs. — Les petits chemins de fer que l'on établit dans l'intérieur des usines, ou sur les champs d'exploitation qui les avoisinent pour les services continus sont appelés généralement porteurs. Ils marchent à bras d'homme ou par traction de chevaux. Les modèles usités sont très nombreux, depuis le porteur Corbin, qui eut le premier beaucoup de succès, jusqu'au porteur Decauville, tout en fer, qui jouit aujourd'hui d'une estime bien méritée. Nous conseillons, dans le choix que l'on fera pour le service particulier auquel on destine un porteur, de ne pas faire de petites économies. Le rail Corbin, formé d'une pièce de bois blindée de fer, est trop léger; mieux vaut un rail Vignole qui coûte plus cher mais qui s'use moins, et qui ne le cède en rien au précédent comme stabilité, enfin qui est capable de mieux résister aux difficultés d'établissement qui se traduisent souvent par des porte-à-faux. Le porteur Corbin n'a que deux roues et, par conséquent, offre moins de résistance à la traction, mais le porteur Decauville se prête mieux à tous les genres de transport et dure plus longtemps à cause de sa solidité. Aussi le porteur Corbin a-t-il complètement disparu.

Bateaux et chemin de fer. — Enfin le prix par bateaux et chemin de fer est variable pour chaque Compagnie, pour chaque entrepreneur.

Ainsi on compte par bateau, pour un parcours de 40 ou 50 kilomètres, 3 francs la tonne de betterave, et la houille sur un long trajet 8 ou 10 francs la tonne. Un bateau de grande rivière tout équipé revient à 5 francs par jour, les hommes se paient de 2 fr. 50 c. à 5 francs. En général le trajet se fait à la tâche.

Sur chemin de fer on compte au maximum par tonne kilométrique :

Jusqu'à 40 kilomètres	0,07 c.
De 40 à 50 —	0,05
Au-dessus de 50 kilomètres.	0,04

Quant à l'embarquement et au débarquement, c'est affaire aux parties de s'entendre à qui paiera. Le prix, d'ailleurs, varie avec la nature des matières ; ainsi la tonne de betterave se paiera 35 ou 40 centimes, la tonne de pulpes 60 et celle de boues de carbonatation 70. Ces prix se débattent.

§ 2. — Conservation de la betterave.

La betterave est amenée des champs directement à l'usine pour entrer en fabrication immédiatement, ou bien elle est mise en silos, dans les champs, ou dans un local voisin de l'usine, pour y être transportée à une époque ultérieure.

La conservation de la betterave est une très grave question, car elle se présente sous des formes si diverses, dans des conditions climatiques si différentes, avec des changements de température parfois si brusques, et aussi avec des racines dont la composition, la richesse et la maturité varient si fréquemment, qu'il est bien difficile d'indiquer un mode général de conservation applicable en tous les cas. Cependant on peut chercher dans les propriétés physiques des betteraves les indications générales pour arriver à la résolution du problème. La betterave, quand on l'arrache, est en pleine vigueur ; elle a encore un an à vivre, et si elle s'arrête dans son existence c'est que le climat s'oppose à sa croissance. Si les circonstances le permettaient, elle continuerait à végéter jusqu'à ce qu'ayant poussé sa graine, son existence soit terminée. Il faut donc dans la conservation de la racine s'arranger de manière à ce que cette végétation de seconde année ne commence pas, et aussi à ce que les circonstances ambiantes ne la tuent pas, car alors commencerait la décomposition putride comme pour tout être arraché à la vie.

Les betteraves en tas ou en silos vivent ; il y a absorption d'oxygène, dégagement d'acide carbonique, et, si l'air qui les environne n'est pas renouvelé, accumulation d'azote dans leur atmosphère. Pasteur a observé que les betteraves conservées dans une atmosphère surchargée d'acide carbonique ou d'azote donnent lieu à une fermentation lactique et visqueuse des plus intenses. Les moisissures se développent en absorbant l'oxygène de l'air et dégagent du gaz carbonique. Cette action, très active à 20 ou 25°, a lieu de même à une température beaucoup plus basse ; c'est ce qui explique pourquoi, avec le temps, la quantité

de sucre va en diminuant. Donc la condition essentielle qui doit diriger la confection des silos est d'assurer une ventilation et une aération faciles pour chasser l'acide carbonique et l'azote. Wœstyne a fait en Russie des observations très détaillées sur la conservation des betteraves dans les usines du comte Bobrinsky.

En Russie les difficultés de conservation des betteraves sont grandes ; ensilées avant l'hiver, on doit éviter le gel et le dégel, ainsi que des changements brusques de température ; aussi le travail des silos, qui sont tous groupés autour des usines, est-il un art à part. Voici une analyse du rapport de Wœstyne ;

Tout l'art de la conservation des betteraves dépend de trois circonstances qu'il faut éviter :

- 1° L'échauffement ;
- 2° L'étouffement ;
- 3° L'évaporation ;

De l'échauffement. — Le suspendre quand il a lieu, le prévenir par tous les moyens possibles. La betterave échauffée ne porte aucun signe extérieur. Le jus qu'elle fournit ne noircit pas, ce qui est toujours de mauvais augure, la défécation reste trouble, et les sirops s'écoulent mal si la preuve est prise trop forte, et ne cristallisent pas si elle est prise trop faible.

L'échauffement dans les silos est proportionnel aux masses et en raison inverse des superficies évaporantes ; l'entassement en vase clos et sans air produit l'échauffement.

Toute betterave, à plus de 1 mètre du contact avec une couche d'air frais, est considérée comme placée dans un endroit clos et doit s'échauffer. Un double plancher n'agit pas à plus de 40 centimètres, le sommet à 1 mètre, en sorte qu'un tas sur double plancher ne peut avoir au plus que 1 m. 50, à moins de murs à claire-voie à 2 mètres de distance, au plus, ce qui permet d'élever le tas autant que l'on veut, 3 ou 4 mètres.

La betterave, comme tous les corps évaporant, a toujours un degré de chaleur inférieur à l'air ambiant. La betterave à 4° au-dessus de 0, perd son activité végétale.

De l'étouffement. — Il est nécessaire d'avoir pour chaque mètre cube de betteraves au moins 30 centimètres carrés de surface évaporante. Il faut que l'air circule ; sa stagnation produit l'étouffement ou l'asphyxie de la betterave.

Le résultat de l'étouffement est variable avec la température. Au-dessous de 4° la betterave est atrocement altérée, bien plus que par

échauffement. Au-dessus de 4° il résulte une pourriture noire, locale, donnant naissance à des infusoires et à des plantes cryptogamiques.

Aussitôt que l'on s'aperçoit, à l'odeur, de l'étouffement, il faut immédiatement changer l'air qui est infecté et sert de véhicule à la putréfaction qui gagne tout le tas. On a essayé plusieurs procédés pour détruire les germes : tels que la fumée, la créosote, l'acide sulfureux. Le meilleur de tous est de prendre les précautions nécessaires pour empêcher l'étouffement, telles que cheminées d'appel lorsque l'air ambiant est plus chaud que l'air intérieur, et les doubles cheminées dans le cas contraire, l'une prenant naissance en bas de la cave ou du silo, l'autre à la voûte. Alors la circulation s'établit seule ; on la règle en ouvrant plus ou moins les cheminées.

La betterave ayant une véritable respiration dans le silo, le manque d'air produirait une véritable asphyxie.

L'évaporation. — La betterave étant une racine douée de vie, qui n'a accompli que la moitié de sa carrière bisannuelle, ne peut être conservée à la manière des fruits mûrs. Ceux-ci se conservent dans l'air sec et rare, tandis qu'un air humide et souvent renouvelé est indispensable à la conservation de la betterave.

La betterave peut perdre, sans se détériorer considérablement 15 à 20 0/0 de son poids d'eau. Mais si elle perd 25 0/0 le fabricant n'a plus de choix à faire : il doit ou la dessécher complètement ou la voir se pourrir. Cependant, dans ce cas de 25 0/0 de perte, il est encore temps de la plonger dans l'eau deux ou trois jours. Elle reprend alors son poids et peut se conserver, mais elle ne reprend jamais sa qualité.

Les précautions à prendre sont de tout instant. Lorsqu'on charge la betterave à 18 à 20 degrés de chaleur, elle perd de 15 à 20 0/0 d'eau ; il faut donc la couvrir de feuilles et de terre, aussitôt après l'arrachage.

Une perte de 10 0/0 d'eau se reprend toute seule dans l'air humide.

Est-il nécessaire pour bien conserver la betterave qu'elle garde sa quantité d'eau normale ? Observons qu'une betterave un peu sèche pousserait plus difficilement des feuilles ; cela pourrait donc avoir un avantage immense pour la conservation, puisque les pousses des feuilles s'effectuent aux dépens de la qualité du jus. Il serait donc possible que l'art de conserver la betterave correspondit à la quantité d'eau que l'on ferait perdre à la betterave. L'air doit cependant être très humide (un peu moins de vapeur d'eau que d'air) 96 0/0 d'eau ; sinon arroser le sol et les murs de la cave et non pas les betteraves.

Silos. — Il suit de là que pour bien conserver la betterave il faut :

1° Qu'aucune betterave ne se trouve à plus de 1 mètre d'une couche d'air renouvelée;

2° Qu'il y ait 30 décimètres carrés de surface évaporante par chaque mètre cube de betteraves.

3° Que l'air dans les silos soit renouvelé tous les jours, et surtout lorsqu'il y a plus de 4° de chaleur.

4° Que la betterave ne perde pas plus de 10 à 12 0/0 de son poids par l'évaporation, ce qui dépend des soins qu'on lui donne dans les champs, et d'humidité que l'on a dans les silos.

En suivant les préceptes précédents on a donné des indications sur la forme préférable à attribuer aux caves et silos dans lesquels on conserve la betterave. Mais en France où la température n'est pas si basse, on n'accumule pas de si grandes masses de racines et le travail des silos est très simplifié. On se contente même presque toujours de laisser dans les champs les betteraves en petits tas couverts de feuilles et de terre, et de les enlever au fur et à mesure des besoins.

Wœstynne a remarqué qu'en France la betterave disposée en couche de 0^m,70 de hauteur sur le sol se conserve fort bien pour les besoins de la fabrication quoique poussant un peu. Quoi qu'il en soit, si l'on veut construire des silos, il faudra ménager dans toute la longueur un canal d'air que l'on fermera à ses deux extrémités par un bouchon de paille de manière à ce que l'air n'y pénètre qu'à la volonté du surveillant. Dans l'épaisseur de la masse on ménagera verticalement des cheminées d'appel d'air, à 1^m,50 ou 2 mètres de distance les uns des autres. De la sorte on pourra combiner tout système d'aération que l'on désirera.

Pour faire les silos il y a différents modes d'agencement fort simples. On peut se contenter (fig. 11) de faire dans le sol un petit canal que l'on remplira de fascines et qui servira de canal d'aération; c'est à cheval

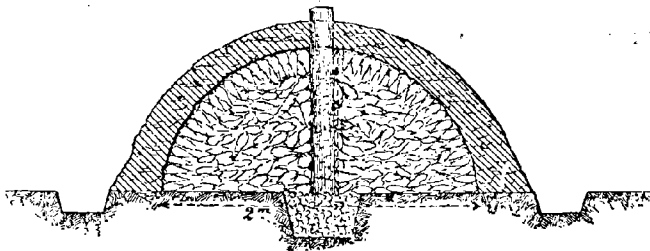


Fig. 11.

sur ce canal que l'on construira le tas de betteraves auquel on donnera 2 mètres de base, 1^m,50 de hauteur et on le disposera en dos d'âne sur

une longueur variable de 20 mètres environ. Sur le tas on posera de la paille, puis de la terre, puis encore de la paille et de la terre pour éviter l'action du froid. Les cheminées verticales seront ménagées, comme le canal inférieur, au moyen de fascines. En Allemagne, on place dans l'épaisseur des tas, de distance en distance, de gros thermomètres qui indiquent la température que l'on maintient constante par l'aération. Cette mesure n'est pas à dédaigner, car il arrive souvent que l'on n'est averti de l'échauffement d'un point dans les silos que par la vapeur qui se dégage et alors il est trop tard, la betterave est déjà bien altérée. Pour terminer avec ce mode d'ensilage, pour évacuer les eaux d'égout, de chaque côté du tas on creuse dans le sol une rigole dont la pente se dirige sur une citerne ou un canal central desservant tous les silos.

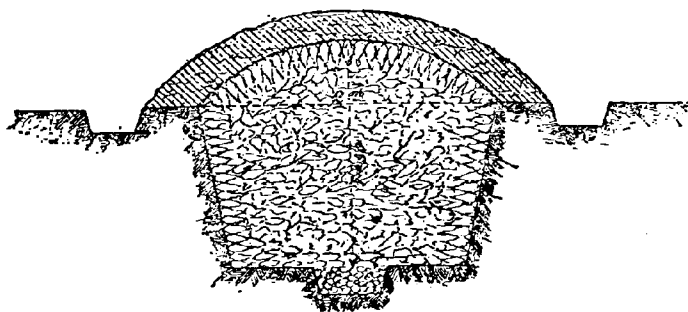


Fig. 12.

On peut encore former le silo en creusant un canal (fig. 12) de 2 mètres de large sur 1 mètre de profondeur, dans lequel on pratique par un petit canal central garni de fascines une circulation d'air. On emplit ce fossé de betteraves que l'on amoncelle en dos d'âne, avec les mêmes précautions que précédemment.

LIVRE TROISIEME

EXTRACTION DU JUS DE BETTERAVE

CHAPITRE PREMIER

RÉCEPTION DES BETTERAVES A L'USINE

§ 1. — Réception.

Lorsque l'on fait un marché de betteraves avec un cultivateur, on convient que celui-ci transportera ses racines jusqu'à un lieu déterminé. Mais ce lieu de réception ne peut jamais dépasser 6 kilomètres, limite extrême à laquelle le cultivateur se refuse de livrer, vu le prix énorme auquel lui reviendrait le transport ; encore à cette distance est-on obligé parfois d'augmenter de 3 à 6 francs le prix d'achat.

La distance la plus favorable est 3 kilomètres, qui permet au cultivateur de faire avec ses attelages au moins quatre voyages par jour.

En ces lieux de réception on a placé une bascule sur laquelle on pèse les racines, et depuis ce point jusqu'à l'usine les transports sont à la charge de l'usinier qui peut faire usage de tous les moyens précédemment cités, chemins de fer, câbles, tuyaux, etc., pour diminuer la main-d'œuvre. C'est en ces points aussi que l'on fait les silos. Lorsqu'une voiture arrive, on la pèse pleine, et si sa tare n'est pas faite d'avance on la décharge et la pèse vide après déchargement. Ensuite les betteraves sont visitées sous les yeux du fournisseur. Si elles sont sales, si les collets sont mal coupés, on en prend un poids convenu, 50 à 100 kilogr. représentant la moyenne de la livraison ; on les nettoie convenablement, leur coupe le collet selon la convention, et les pèse de nouveau ; on en déduit la *tare* que l'on appliquera en diminution à toute la livraison. Cette tare se fait aussi parfois sur une voiture entière.

Lorsque les betteraves sont trop sales ou trop mal décolletées, on les refuse avant de les passer sur la bascule, car c'est une très grande erreur d'accepter des betteraves avec leurs collets, même en déduisant une forte tare ; les collets de betterave contiennent une si grande quantité d'impuretés organiques et salines, que l'introduction en cours de fabri-

cation du jus que l'on en retire est une grave encombre à l'extraction du sucre.

Dans certaines contrées, surtout à l'étranger, les betteraves sont jetées de la voiture dans une caisse placée sur la balance. On évite ainsi de peser la terre qui salit et alourdit les chariots au détriment du fabricant.

L'impôt se perçoit depuis 1884 sur le poids de la betterave. Aussi, avant de les peser, on les nettoie et on leur coupe le collet. On faisait usage autrefois, en Allemagne, pour cela d'une machine dite *carrousel*. C'est un vaste plateau animé d'un mouvement rotatoire lent sur lequel on décharge les betteraves. Des femmes et des enfants assis autour nettoient toutes les racines au fur et à mesure qu'elles se présentent. Ce mode de travail est coûteux, et n'a raison d'être que dans les localités où il est appliqué par suite des exigences fiscales. En France, les racines sont reçues sur des appareils secoueurs après lavage. Là elles s'essorent, et un ou plusieurs ouvriers surveillent leur passage pour rejeter celles qui ne sont pas bien nettoyées ou décolletées.

Nous décrirons tout cela plus loin.

§ 2. — Magasin à betteraves.

Dans certaines contrées, par exemple dans les pays très froids, on est obligé d'emmagasiner la betterave à proximité de l'usine.

De la bascule ou des silos, la racine est transportée dans le magasin qui précède le laveur, qu'il s'agisse d'une râperie ou d'une usine proprement dite. Ce magasin doit être assez grand pour contenir les betteraves de tout une nuit de fabrication, et même d'une ou deux journées, pour le cas où des fêtes ou des difficultés de route dans la mauvaise saison, ou toute autre cause imprévue, empêcherait les arrivages réguliers. On compte que le magasin doit avoir 4 à 6 mètres de superficie par 1.000 kilos de betteraves à travailler en 12 heures. Cependant cette dimension n'est applicable qu'aux petites usines, car lorsqu'on arrive à des fabriques plus grandes, celles qui travailleraient 350.000 kilos par 24 heures, par exemple, on arriverait à des dimensions considérables. Or, 1.000 kilos de betteraves amoncelées sans soin prennent un volume de 1 m. c. 800. On peut se baser sur ce chiffre pour établir, à proximité du magasin de betteraves, des réserves qui serviront à fournir ce magasin. Le mètre cube de betteraves pèsera donc 555 kilos.

Il faut bien éviter que les racines soient brisées dans toutes ces manipulations ; le magasin doit être agencé de manière à ce que l'on y forme deux grands tas principaux, l'un que l'on charge, tandis que l'on ali-

mente avec l'autre ; on ne doit entamer un tas que quand la place du premier est nette de toute racine et débarrassée de la terre qu'on y a accumulée. Aussi la formation de trois ou quatre tas au lieu de deux est-elle une bonne chose. Si l'on ne prend pas cette précaution, les dernières racines qui séjournent avec la terre, froissées et brisées, peuvent pourrir et amener la fermentation dans toute la masse en quelques jours de repos.

Le magasin doit donc être placé dans un corps de bâtiment assez isolé pour que la circulation des voitures s'y fasse facilement, et par conséquent, il doit être percé de grandes baies, permettant l'entrée et la sortie des chariots par des faces opposées. Une bonne disposition consiste à mettre le magasin en contre-bas des chemins d'arrivée, de manière à ce que les tombereaux s'y déchargent par des fenêtres pratiquées à cet usage, sans être obligés d'entrer dans le magasin même. On peut ainsi économiser beaucoup de main-d'œuvre pour le service des cours toujours pénible à diriger.

Dans les grandes usines françaises il n'existe pas de magasin proprement dit, les betteraves étant mises en grands tas dans les cours, tas qui sont le plus souvent à découvert, mais qui parfois sont placés sous des hangars, excellente disposition pour la conservation des racines, comme nous le verrons ailleurs.

En Russie, il est indispensable d'avoir des magasins à cause de l'irrégularité de l'alimentation des usines ; aussi ces magasins sont-ils admirablement disposés.

Ce sont de grandes pièces tout en charpente à deux étages. La partie du bas présente deux plans inclinés en forme d'entonnoir, entre lesquels passe un transporteur. Au-dessus se trouve un plancher solide, percé de baies à droite et à gauche d'un chemin bordé par de solides traverses. Les voitures passent sur ce plancher, se déversent à droite et à gauche dans l'entonnoir, entrant par un bout du magasin, et sortant par l'autre.

Pour empêcher les betteraves de tomber sur le transporteur, des claies solides forment un couloir qui isole le transporteur. En déplaçant ces claies, on laisse tomber les racines sur le transporteur au fur et à mesure des besoins.

Des plans inclinés donnent accès aux voitures. Ces grands magasins sont très commodes pour le service de jour et de nuit. Ils occupent un vaste corps de bâtiment construit spécialement pour leur usage ; mais ils prennent beaucoup de place, ce qui offrirait des difficultés d'établissement dans nos usines où le terrain est toujours trop réduit.

TRANSPORTEUR HYDRAULIQUE

Aujourd'hui la pesée de la betterave est le mode usité pour déterminer l'impôt en France. Outre le besoin d'avoir de bonnes betteraves, il est donc devenu indispensable de l'amener propre et sèche à la balance, pour ne pas payer de droit sur de la terre et de l'eau arrivant à la bascule.

Aussi doit-on avoir bien soin, lors du transport des champs ou des silos, de n'amener que des racines bien décollétées, sans paille nifeuille. On doit aussi faire attention à la nature de la terre qui enrobe les betteraves, car les terres argileuses ne peuvent se nettoyer à l'eau qu'après un ressuyage préalable qui dessèche suffisamment la terre pour qu'elle tombe en croute. Pour celles-là la mise en silos ou en tas pendant un temps plus ou moins long est indispensable et l'on ne devra jamais les conduire directement des champs à l'usine.

Un système qui est en grande faveur auprès de la sucrerie, pour le transport des betteraves des silos à l'usine, est le *transporteur hydraulique*.

Il consiste en un canal étroit ayant assez de pente pour que l'eau que l'on y projette par une pompe s'écoule rapidement. Ce canal court tout le long des silos. On y jette les betteraves, et celles-ci entraînées par le courant suivent le trajet de canal qui débouche au pied de l'élevateur desservant les laveurs. Les racines arrivent donc ainsi à l'usine avec un lavage préalable très efficace. Comme les betteraves nagent dans l'eau, une grille placée en un point convenable du canal est un excellent épierreur.

Enfin, on peut varier le parcours à l'infini, faire passer le canal sous les silos, en le recouvrant alors d'un plancher mobile qui permet de faire tomber, presque sans main-d'œuvre, les betteraves dans l'eau courante.

De plus cette eau peut être celle des pompes à air, et se trouver amenée dans le haut du canal par les pompes elles-mêmes, sans avoir besoin de pompe spéciale, en sorte que l'installation se simplifie beaucoup lorsque la disposition de l'usine et des silos le permet.

Ce système a donc de grands avantages comme économie de main-d'œuvre et comme lavage des racines.

On lui objecte que si les betteraves restent longtemps dans l'eau, les parties tranchées, comme le collet et les blessures, forment autant de centre de perte de sucre par diffusion. Nous ne croyons pas l'objection fondée, attendu que les betteraves doivent toujours être lavées, et que la diffusion s'opère aussi bien dans les laveurs que dans le transporteur hydraulique.

De plus la diffusion ne se fait qu'à une faible profondeur de quelques millimètres seulement, c'est la zone de diffusion facile.

Au delà il faut un temps très long pour arriver au désucrage. Or cette diffusion facile est celle qui se fait dans tous les laveurs, et la betterave ne reste pas assez longtemps dans l'ensemble du transporteur et des laveurs pour que la zone facile de diffusion soit dépassée. Enfin la betterave reste infiniment plus longtemps dans les laveurs que dans le transporteur, et même avec le transporteur comme on peut diminuer l'importance des laveurs, la somme totale de lavage peut ne pas être augmentée.

De tout cela résulte que le transporteur hydraulique s'est répandu rapidement en dépit de cette objection, la seule sérieuse, et qu'il est adopté dans un très grand nombre d'usines. En Russie la température est le seul obstacle qui s'oppose à son adoption, encore l'avons-nous vu employé fréquemment dans les magasins à betteraves fermés qu'on appelle « bourakovnia » qui contiennent une provision de betteraves suffisante pour alimenter l'usine pendant deux ou trois fois 24 heures.

Les canaux du transporteur hydraulique ont environ 400 millimètres de largeur sur une profondeur de 450 à 500 millimètres, dimensions variables suivant l'importance de l'usine, la quantité d'eau dont on dispose et la rapidité du courant.

La pente ne doit pas être moindre de 7 millimètres par mètre, plus grande dans les courbes que dans les lignes droites. Plus elle est grande, plus rapide est le courant et meilleur est le service du transporteur, mais aussi plus grande doit être la quantité d'eau fournie. Lorsque l'on a peu d'eau à sa disposition, on peut diminuer un peu la pente pour que la betterave nage sans cesse, mais il faut prendre de grandes précautions pour éviter les obstructions.

ÉLÉVATEUR

Lorsque le sol du magasin est au niveau général de la fabrique, ce qui arrive ordinairement, à moins que l'usine ne soit accotée à une élévation de terre permettant d'amener par un pont les betteraves directement à la partie supérieure de la construction, on est obligé, parfois, d'élever les racines assez haut pour qu'elles tombent dans la trémie des laveurs.

L'ancien élévateur se compose d'une courroie sans fin, large de 25 à 40 centimètres, en chanvre ou en caoutchouc, sur laquelle sont boulonnées des palettes en fonte de la même largeur ; des contre-plaques

reçoivent de l'autre côté de la courroie la tête fraisée des boulons. Cette courroie est tendue sur deux poulies ou tambours placés aux deux extrémités d'un châssis auquel on donne une inclinaison de 45° à 50°. Le châssis porte, en outre, de distance en distance, variable de 1 mètre à 1^m,50, des galets sur lesquels glisse la courroie dans son mouvement ascendant. Le tambour supérieur est fixe et domine la trémie du laveur. C'est lui qui reçoit le mouvement de la machine. Les paliers soutenant l'axe du tambour inférieur sont maintenus dans des glissières garnies de vis permettant de tendre plus ou moins la courroie et de l'orienter. Pour empêcher la courroie de sortir des tambours et de frotter contre le bâti, on munit celui-ci de galets latéraux voisins des deux extrémités, et maintenant la courroie dans sa partie lâche. Enfin, une bonne précaution est de garnir le tambour inférieur d'un râcloir, pour débarrasser cette poulie de la terre et des débris dont elle se charge ; dès lors, son diamètre augmente et la tension exagérée de la courroie arrête tout mouvement. On devra régler la vitesse de la courroie et le nombre de palettes nécessaires à y ajuster d'après le travail que l'on voudra lui faire fournir.

La partie inférieure de l'élévateur est placée sous le sol du magasin dans le fond d'un trou maçonné que domine une trémie garnie d'une soupape en bois à charnière de cuir, très mobile, et que soulève chaque palette en passant. C'est dans cette trémie, d'ailleurs peu profonde, que l'on jette à la main la betterave. Nous disons *à la main*, parce que c'est le moyen le plus sûr de ne pas introduire de cailloux ni de terre en trop grande abondance. Cependant on peut employer des brouettes ou des paniers chargés à la main, mais *jamais* se servir de pelles en fer.

Les courroies en chanvre ou en caoutchouc ont l'inconvénient de se couper à l'usage auprès des palettes. Léon Joly a été l'un des premiers à construire des courroies métalliques. La sienne était formée de deux chaînes à gros maillons sur lesquelles se vissaient des plaques de tôles unissant les chaînes parallèlement, et faisant un tout rigide et flexible. Les palettes étaient en tôle. Les courroies de ce système coûtent moins cher que celles en caoutchouc, et sont d'une durée beaucoup plus grande.

Depuis l'invention de Joly, il s'est construit beaucoup d'autres élévateurs à courroie métallique. La chaîne Vaucanson se substitue souvent dans ces appareils à la chaîne à maillons, afin de présenter plus de légèreté. De plus, on est arrivé à construire des élévateurs n'ayant plus qu'une seule chaîne, les plaques de tôle qui supportent les palettes glissant alors sur des guides au moyen de pattes rapportées sur les côtés. C'est maintenant l'un des systèmes le plus souvent adoptés en France. Seule-

ment les élévateurs à une chaîne ont l'inconvénient que tout le système tombe en bas si la chaîne vient à se casser. Deux chaînes sont préférables.

La diffusion avec les grandes hauteurs auxquelles on est obligé d'éle-

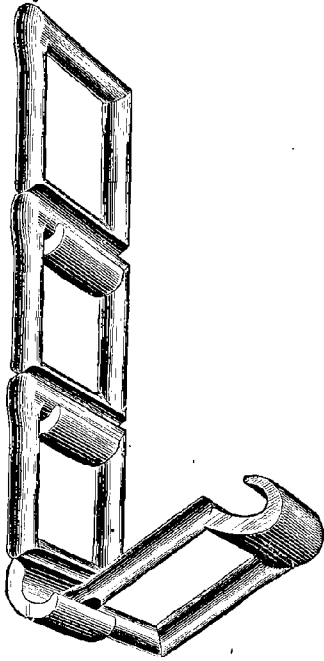


Fig. 13.

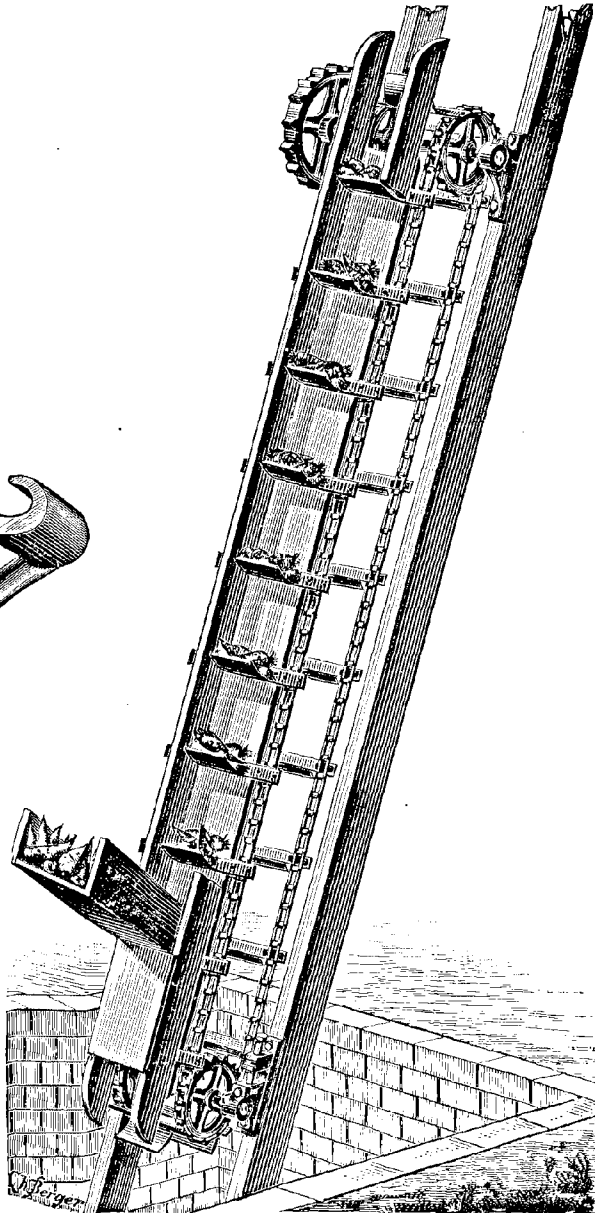


Fig. 14.

ver la betterave aux coupe-racines, a conduit à la construction d'élevateurs verticaux du même genre. Dans ce cas, les palettes doivent être remplacées par des godets à claire-voie qui, même dans les élévateurs inclinés, rendent de grands services en assurant à la machine un meilleur fonctionnement.

L'une des chaînes les plus usitées aujourd'hui pour les élévateurs, est la chaîne Ewart et ses dérivés.

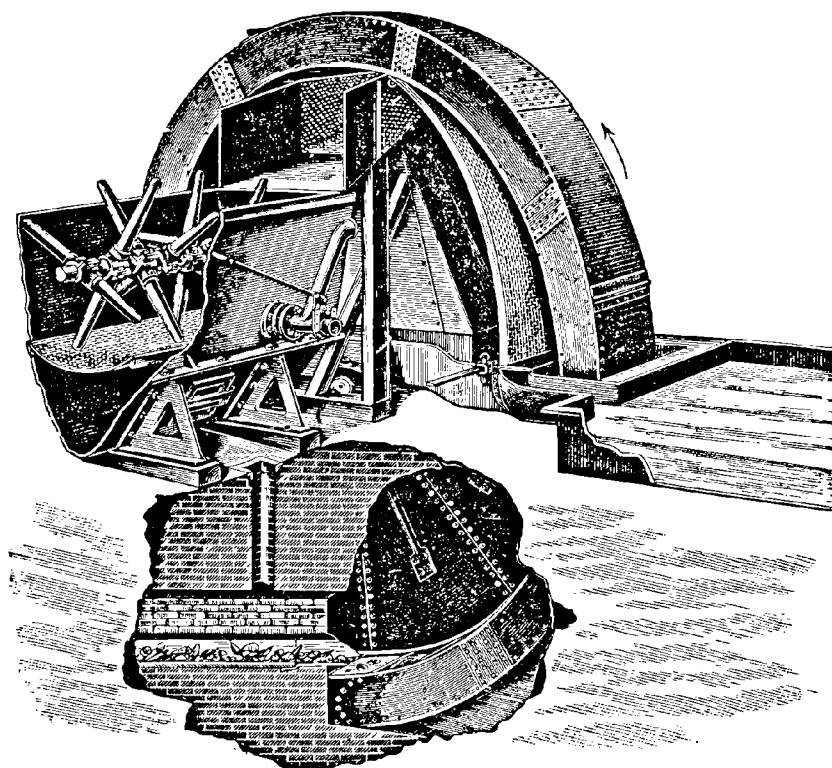


Fig. 15.

La chaîne système Ewart se compose de maillons facilement démontables, comme on le voit figure 13, mais disposés de telle façon que, lorsque la chaîne est tendue, les maillons ne puissent se décrocher en aucune manière, puisqu'il est indispensable de donner une forte inclinaison à l'élément lorsque l'on veut le faire glisser dans le crochet du précédent.

Les maillons sont en fonte malléable ou mieux en acier, tous exacte-

ment calibrés, ce qui permet de les substituer l'un à l'autre, et d'obtenir avec le même nombre d'éléments des chaînes exactement de même longueur.

Grâce à ces qualités, la chaîne Ewart permet de construire des élévateurs (fig. 14) dont les palettes ou les godets peuvent avoir la longueur que l'on désire tout en restant parallèles, les deux extrémités de chaque palette étant retenues par des chaînes identiques roulant sur des roues à denture calibrée. On a ainsi des élévateurs à betterave puissants et légers, et ne laissant rien à désirer. L'élévateur figure 13 est construit par la maison Burton.

La chaîne Ewart permet d'ailleurs toutes les combinaisons possibles pour les élévateurs et transporteurs à palettes, à godets, etc. Elle peut servir aux mêmes usages que les chaînes de Gall pour les transmissions même à grande vitesse (jusqu'à 5 mètres par seconde), et, comme elle ne craint pas l'humidité, elle se recommande pour tous les cas où l'emploi des courroies serait impossible.

On se sert aussi, en Allemagne et en Autriche, comme élévateurs à betteraves, de grandes roues à aubes intérieures, marchant d'un mouvement lent produit par un engrenage. Les betteraves sortant du transporteur hydraulique tombent dans la roue, s'égouttent un peu en montant, et se déversent dans la trémie des laveurs. La figure 15 représente cette roue telle que la construit Maguin, en France.

LAVEUR

Les anciens laveurs se composent d'un cylindre horizontal en tôle percé de trous, tournant autour de son axe dans une bache pleine d'eau. L'axe est formé par un arbre reposant sur deux paliers dont les coussinets sont en bois, lorsqu'ils reposent sur les rebords de la bache, parce qu'alors ils sont constamment mouillés. En avant de la bache, qui est en tôle, se trouve boulonnée une trémie en fonte dans laquelle on jette les betteraves ; en arrière, on fixe un déversoir également en fonte. Le cylindre, sans frotter par ses extrémités contre la bache, ne laisse entre elle et son rebord qu'un intervalle d'un centimètre environ à chaque bout, de manière à ce que la betterave ne s'y engage pas. A l'intérieur du cylindre, formant entretoise pour retenir le cylindre à l'axe, se trouve une série de pièces en fer rond boulonnées suivant une hélice sur la tôle, de manière à ce que les betteraves en les choquant tendent à gagner l'extrémité du cylindre. A cette extrémité les entretoises se rapprochent à quelques centimètres et sont dis-

posées de manière à former une surface courbe hélicoïdale qui rejette dehors toutes les betteraves. Les racines sont d'ailleurs poussées en avant par celles que l'on jette à la suite. La bêche doit être entretenue pleine d'eau, un trop-plein maintient le niveau constant. Plus le cylindre plonge dans l'eau, moins son travail demande de force ; on a d'ailleurs toujours avantage à prendre un laveur de grande dimension pour mieux laver les racines. La bêche est arrondie à sa partie inférieure et son fond présente une inclinaison vers une ouverture placée en dessous, fermée par une large soupape-vanne, de manière à pouvoir la vider rapidement et la nettoyer à chaque arrêt. En effet, la boue s'accumule dans le bas du laveur et au bout d'un certain temps le cylindre frotterait dessus. Il est donc indispensable de faire la bêche profonde. Un trou d'homme placé en avant de la bêche, et fermé par une vis de pression, permet d'effectuer convenablement ce nettoyage.

Le cylindre fait de 20 à 25 tours par minute, sa longueur est peu variable, de 2^m,50 à 3 mètres, et son diamètre oscille de 0^m,80 à 1^m,10.

Voici quelques dimensions courantes de laveurs et la force nécessaire pour les faire mouvoir :

Pour 50,000 kil. en 24 heures	dimensions 2 ^m	sur 0,80	force 3 chevaux.
— 100,000	— 2,500	0,90	4 —
— 200,000	— 3	0,90	4 —
— 300,000	— 3	1,10	5 —

Aujourd'hui, on préfère employer comme laveurs de grandes auges de 5 à 6 mètres de long (fig. 16), dans lesquelles tourne un axe muni de pa-

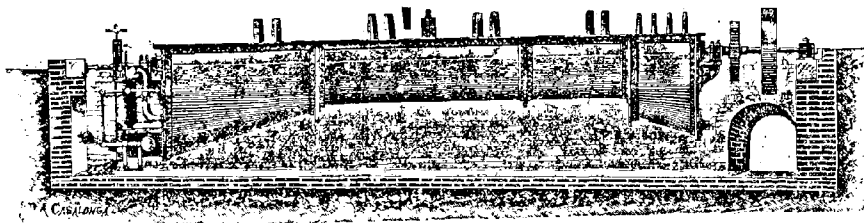


Fig. 16. — Laveur (Construction Maguin).

lettes (fig. 15 et 17) montées selon une ligne hélicoïdale autour de cet axe. Les bras sont mobiles sur l'axe de manière à changer l'angle du pas de vis à volonté. A cet effet tous ces bras sont portés chacun sur une chape creuse qui s'enfile sur l'arbre ; cette chape porte, sur le pourtour des deux faces, des crans disposés de telle façon que les saillies de l'une rentrent dans les creux de la chape voisine, en sorte que toutes ces chapes serrées l'une contre l'autre forment un tout rigide. Il suffit donc que la

dernière chape porte une vis de serrage pour fixer en place tous les bras dans la position qu'on aura donnée avec l'angle d'inclinaison voulu.

Aujourd'hui qu'avec la diffusion et le pesage de la betterave par la régie le lavage doit être sérieux, on met souvent deux de ces laveurs au bout l'un de l'autre ou parallèlement avec interposition d'un épierreur tel que nous allons le décrire.

Ces laveurs sont ordinairement au ras du sol, ce qui facilite beaucoup l'alimentation de la betterave.

L'évacuation des eaux sales de ces laveurs se fait ordinairement d'une façon automatique. A cet effet, l'arbre porte à son extrémité, en dehors de la bêche, une came fixe. La porte de vidange des eaux sales est au-dessous, et surmontée d'un étrier qui passe par-dessus la came. La partie supérieure de l'étrier est mobile, et sa hauteur peut se régler à

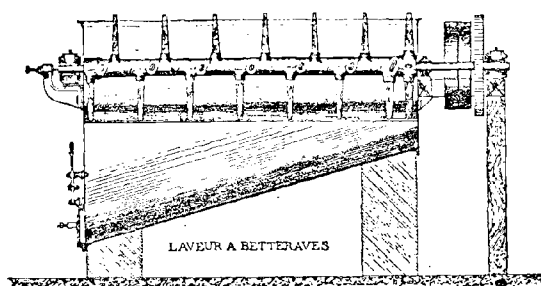


Fig. 47 (Construction Denis).

volonté. Il résulte de ce dispositif que lorsque l'étrier touche la came, la porte se soulève et retombe immédiatement après, et qu'en réglant la hauteur de la partie supérieure de l'étrier, on règle en même temps la hauteur de l'ouverture de la porte.

Si donc cette ouverture est réglée de telle sorte que son débit soit égal au volume de l'eau d'alimentation entre chaque soulèvement, on évacuera à chaque tour une quantité d'eau sale constante, et le laveur ne contiendra toujours qu'une eau non boueuse et parfaitement apte à un lavage soigné.

ÉPIERREUR

Lorsque l'on fabrique le sucre dans une contrée caillouteuse, les betteraves sont plus ou moins sales et ont besoin d'être épierrées, sinon le coupe-racines serait immédiatement détérioré. On a imaginé, à cet effet, de mettre sur le prolongement de l'axe du lavoir, ou sur

un axe à part et plongeant dans une bêche spéciale placée en avant ou en arrière du lavoir, trois ou quatre bras en fonte disposés dans le même plan et écartés de 15 à 18 centimètres à leur extrémité. La bêche a la forme hémicylindrique, de manière à ce que les bras de l'épierreur soient toujours à la même distance de la tôle. La bêche étant pleine d'eau, les betteraves nagent à la surface, les cailloux tombent au fond, et les bras de l'épierreur enlevant les racines les font retomber dans la trémie des râpes. Cet épierreur est représenté dans notre figure 18.

APPAREILS DIVERS

Élévateur-épierreur Charpentier. — Ce système consiste en une vis d'Archimède en fonte et fer, enveloppée dans un tambour en tôle percé de trous, et incliné à 45°. Le pied du tambour plonge dans un bac

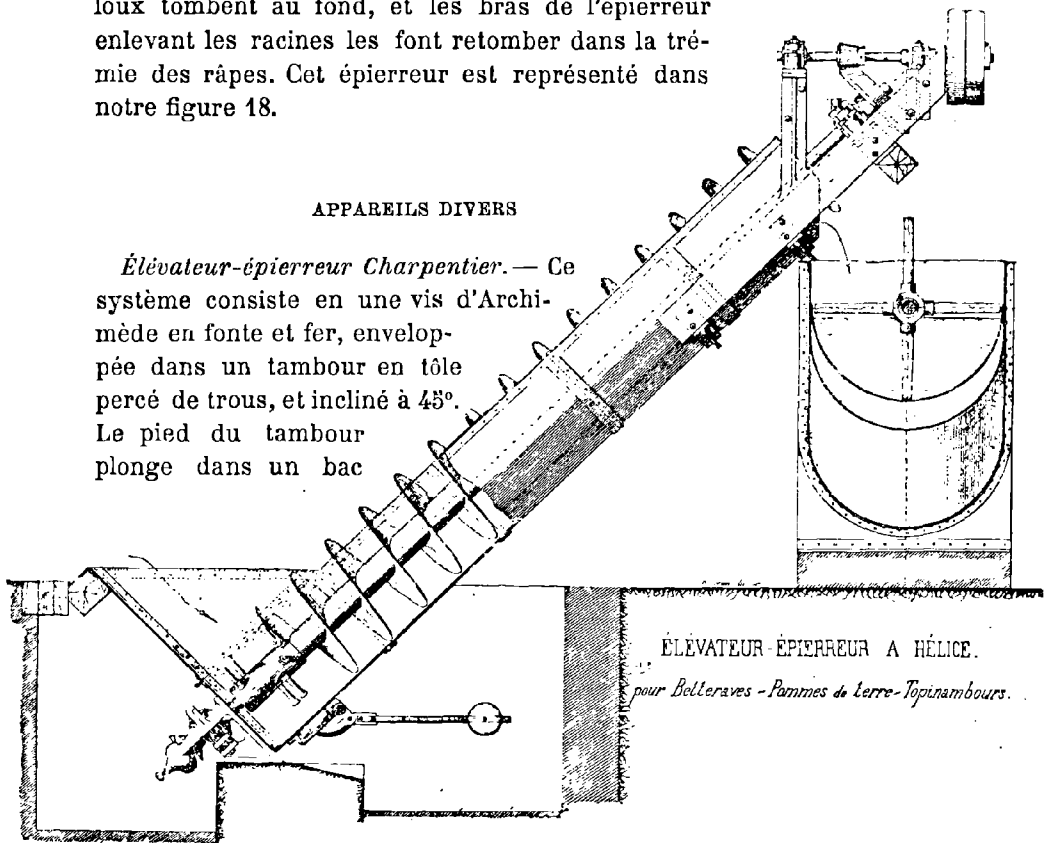


Fig. 18.

jusqu'à une certaine distance du fond. La dernière spire de la vis est à claire-voie, et le bac contient de l'eau jusqu'à la hauteur nécessaire pour que cette partie à claire-voie et le commencement de la vis pleine soient baignés. Les betteraves barbotent, sont saisies par la vis à claire-voie et remontent jusqu'au laveur (fig. 18), suivant le point où l'on place l'appareil. La lavoire peut alors être de niveau avec le magasin à betteraves, et l'on supprime ainsi les élévateurs à courroie ordinaire. Cette

machine permet d'élever 150 à 200,000 kilogrammes de betteraves en 24 heures avec très peu de force. Elle fonctionne fort bien et évite tous les inconvénients afférents aux courroies. L'élevateur (fig. 18) est construit par la maison A. Denis de Saint-Quentin.

Aussi les élévateurs à hélice sont-ils de plus en plus employés. Ils prennent des noms divers suivant le pays où l'on en fait usage. On les applique d'ailleurs à tous les services, pour les cossettes épuisées aussi bien que pour la betterave.

Épierreur Collas.—Ce laveur-épierreur, inventé par Collas de Dixmude, consiste en une bêche (fig. 19 et 20), divisée en deux compartiments in-

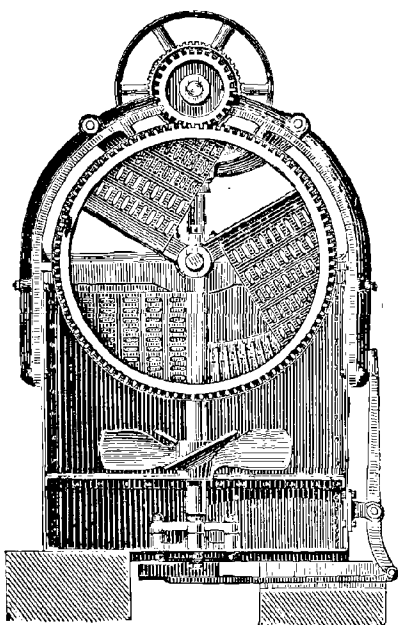


Fig. 19.

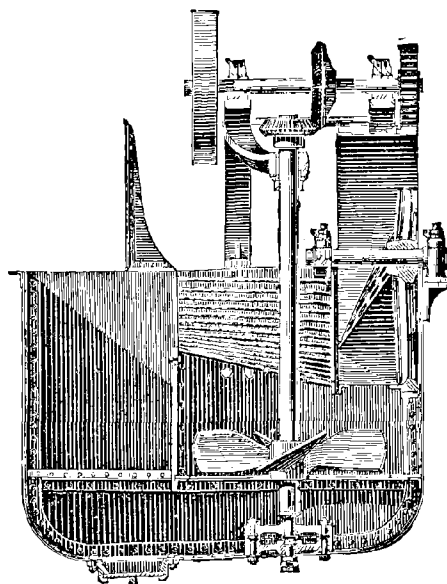


Fig. 20.

gaux par une cloison qui ne descend pas jusqu'au fond de la bêche, et laisse au-dessus d'elle une certaine hauteur des bords de cette bêche. Dans le grand compartiment, près du fond, au niveau du bord inférieur de la cloison, se meut une hélice horizontale à quatre palettes. Une grille horizontale est placée à la même hauteur dans le petit compartiment. Enfin une grille inclinée est placée dans le grand compartiment au niveau du bord supérieur de la cloison. L'appareil étant rempli d'eau, et l'hélice mise en mouvement par l'intermédiaire de deux roues d'angle,

il se produit un mouvement circulaire de l'eau qui remonte dans le petit compartiment, à gauche sur la gravure, passe au-dessus de la cloison qui fait déversoir, et, traversant la grille inclinée, retombe dans le grand compartiment où elle est reprise par l'hélice.

Si dans ce courant rapide on jette les betteraves, soit dans le compartiment de gauche, ces racines, en vertu de leur densité relativement faible, sont entraînées au bout d'un instant par le courant, projetées sur la grille inclinée, et rejetées dehors de l'appareil par un petit tambour armé de palettes inclinées et mû par engrenage. Les pierres et corps lourds tombent sur la grille et dans le fond de la bêche, d'où on peut les extraire au moyen d'une trappe placée en dessous. Un panneau vertical en tôle, placé au-dessus du compartiment de gauche, empêche les betteraves de tomber directement sur la grille inclinée, et protège la courroie de commande. Cette machine se recommande par le peu de place qu'elle occupe et sa construction rustique. Elle est employée dans plusieurs fabriques en second lavage.

Sécheur. — Du lavoir, la betterave ne peut aller telle quelle à la bascule pour être pesée, car elle est trop humide. Aussi a-t-on cherché des

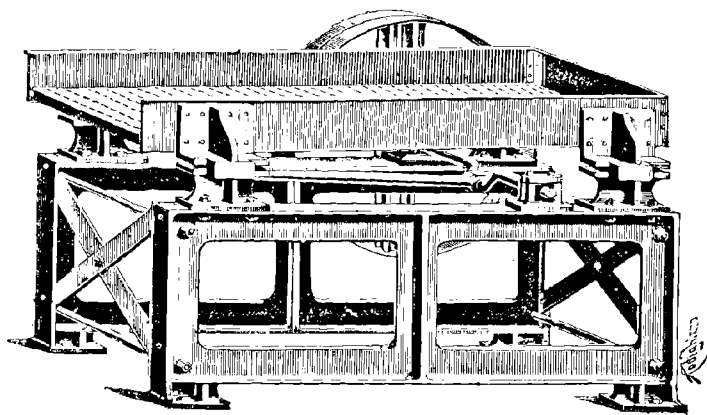


Fig. 24 (Construction Maguin).

moyens mécaniques de séchage, ou plutôt d'égouttage, car on n'est pas encore arrivé à la sécher d'une manière pratique.

Le moyen le plus répandu est le *secoueur mécanique*, espèce de plan légèrement incliné, en tôle perforée de trous nombreux suffisamment petits pour que les queues de betteraves ne passent pas, ou formé de lattes en fer rapprochées parallèlement (fig. 24).

Il est animé d'un mouvement de va-et-vient suffisamment rapide pour

que la betterave, par la force d'inertie et grâce à l'inclinaison du plan, reste en place au mouvement de recul, le plan métallique reculant seul sous la betterave, ce qui fait que la charge avance toujours et ne revient pas en arrière. Le mouvement de va-et-vient est donné par une manivelle ou un excentrique, et le passage du point mort concourt aussi à l'effet précité. Enfin le mode de suspension du plan incliné est variable. Tantôt il se meut sur une glissière, tantôt il est suspendu au moyen de petites bielles ou de ressorts. Cet appareil suffisamment long et bien monté rend de réels services. Après on peut mettre des femmes chargées de décoller les betteraves bouteuses et d'enlever les corps étrangers qui pourraient arriver à la bascule.

Un autre appareil plus efficace encore est le transporteur-essuyeur, construit par Denis-Lefèvre et C^{ie} de Saint-Quentin (fig. 22). Il se compose d'une douzaine de cylindres placés tous parallèlement et tournant tous dans le même sens de même vitesse. Ces cylindres sont autant de brosses tournantes garnies en baleine ou en piassava et formant le fond d'une

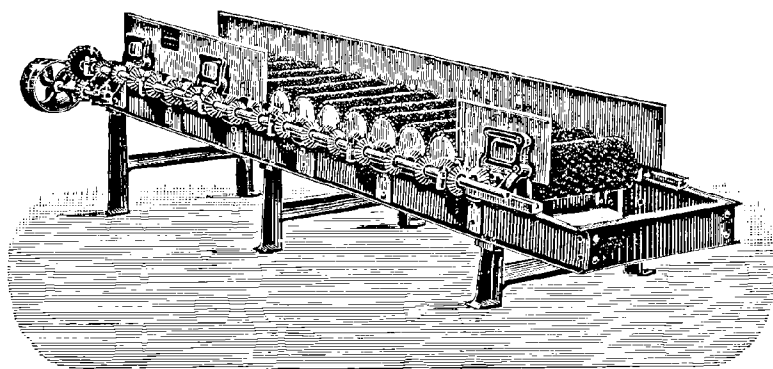


Fig. 22.

nochère allant du lavoir à l'élévateur du coupe-racines. La betterave tombant dans cette nochère est entraînée de brosse en brosse, roulée dans tous les sens, essuyée par elles, et arrive bien époncée et bien nettoyée à la bascule. Le seul entretien de cet appareil est l'usure des brosses ; néanmoins il répond bien à son but.

§ 3. -- Pesage de la betterave.

Au sortir des laveurs et des sécheurs, la betterave est pesée par les soins de la régie dans les pays comme en France où l'impôt se prélève sur le poids de betterave travaillé. La régie française est très exigeante.

La bascule doit répondre à de nombreux desiderata. Le chargement et le déchargement ne peuvent se faire qu'avec l'assentiment de l'employé de la régie. La pesée doit être toujours la même, et le déchargement ne peut se faire que si le poids est exact dans la benne.

Le déchargement ne doit pouvoir se faire que lorsque l'employé a mis la bascule au cran de repos, cran qu'il ne peut lui-même embrayer que si le poids de la betterave est exact. Deux compteurs doivent marquer automatiquement le nombre des pesées, l'un visible, l'autre invisible, et les deux compteurs doivent marquer le même chiffre à la vérification.

Enfin, lors de la pesée, la benne, la bascule, tout le système en un mot, doit être enfermé sous une cage inabordable pour qu'on ne puisse frauder. L'appareil doit donc contrôler fabricant et employé de la régie.

Disons de suite que les inventeurs se sont ingénies à résoudre ces nombreux problèmes, et qu'un grand nombre de balances fonctionnent à la satisfaction de tous, sans donner de retard à l'alimentation de la trémie du coupe-racines. Il y a deux systèmes généraux de balance. Le système à benne fixe, et le système à bennes mobiles.

Dans le *système à benne fixe*, celle-ci est portée à demeure sur la balance et tous les leviers, compteurs, portes d'emplissage et de vidange, etc., sont supportés par elle. La benne a le fond incliné du côté de la porte de vidange, cette porte ne peut s'ouvrir que lorsque le couvercle est fermé, et réciproquement le couvercle ne peut s'ouvrir que lorsque la porte de vidange est fermée. Une série de leviers contrariés, d'excentriques et de crochets mis en mouvement par ces engins, permet d'arriver à ce double résultat. Enfin la porte de vidange ne peut s'ouvrir que lorsque le verrou d'arrêt du fléau de la balance a pu être poussé, et ce verrou d'arrêt ne peut être poussé que quand le fléau est bien horizontal. A cet effet, le levier actionnant le verrou d'arrêt est dans la main de l'employé de la régie. Il pousse en même temps une came qui fait obstacle à l'ouverture de la porte du bas lorsque le verrou d'arrêt est ouvert, et qui au contraire permet son ouverture à l'exclusion de celle de la porte du haut quand il est fermé.

Telles sont les conditions que doivent remplir ces balances.

Le système à bennes mobiles est plus simple, il est appliqué à des wagonnets que l'on amène sur une balance. Le cran d'arrêt du fléau ne peut être poussé que lorsque le wagonnet enfermé dans la cage de toile métallique qui le rend inabordable a bien le poids. Mais ce mode de pesée n'est appliqué qu'aux usines ayant déjà des wagonnets, quoiqu'un procédé ingénieux proposé par Gallois, et approuvé par la régie, comme nous le verrons plus loin, permette facilement de généraliser ce système qui a beaucoup d'avantages.

Parmi les appareils de pesage les plus répandus nous citerons ceux de Maguin.

L'appareil pour pesage des betteraves construit par Maguin comporte tous les organes dont nous parlons plus haut. La véritable amélioration apportée par l'inventeur est la suivante (fig. 23).

Dans tous les appareils de pesage il faut manier les leviers tantôt de haut en bas, tantôt de bas en haut. Il peut arriver que l'ouvrier se trompe de sens et fasse alors le mouvement arrière s'étant aperçu de son erreur. Mais alors le compteur marque, celui-ci étant solidaire des leviers de manœuvre, et c'est une pesée indiquée en trop.

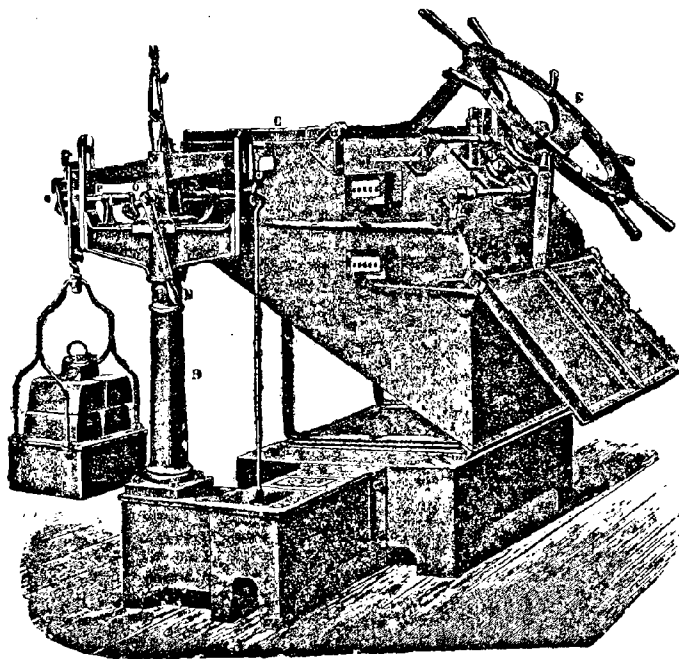


Fig. 23.

Maguin a fait actionner la manœuvre par un volant E qui tourne toujours dans le même sens, soit pour ouvrir soit pour fermer, chose possible puisque le mouvement est alternatif. Il est donc impossible de marquer deux fois de suite au compteur sans avoir fait une évolution complète de tout le mouvement, par conséquent l'ouvrier ne peut plus se tromper.

On voit sur la figure 23, en R et C', les deux compteurs, en N le levier qu'actionne l'employé de la régie, en C la porte de chargement, et D la porte de vidange.

Citons encore la bascule de Montauban et Marchandier qui est un bon instrument. La porte du haut peut être ouverte et fermée sans obstacle quand la porte du bas est fermée au moment de l'emplissage, mais la porte du bas ne peut être ouverte que quand celle du haut est fermée définitivement. Cela permet de régler bien exactement la pesée en ajoutant ou retranchant des betteraves, d'ouvrir et de fermer la benne sans marquer au compteur. Le compteur ne marque qu'à l'ouverture de la porte du bas, et lorsque l'employé de la régie a poussé le verrou d'arrêt. D'ailleurs un dispositif ingénieux ne permet pas de pousser le verrou d'arrêt tant que la porte du haut n'est pas bien close.

On remarque de plus la façon dont est disposée la manivelle de manœuvre des couvercles qui est indépendante, de manière à ne pas nuire à la sensibilité de la bascule, et de plus, très abordable par l'ouvrier.

Le système de Gallois est fort ingénieux. Le voilà en deux mots :

Le wagonnet à betteraves roule sur des rails dans un tunnel à section rectangulaire. Ces rails sont portés sur le tablier de deux bascules, sur les deux premiers tiers du parcours et surplombent la trémie du coupe-racines sur l'autre tiers. De même, le dessus du tunnel est ouvert sur le premier tiers et fermé sur les deux autres tiers. La première bascule sert au fabricant à faire le poids exact. Quand ce poids est obtenu, que le tablier est bien de niveau, le wagonnet est poussé par une chaîne sans fin sur le tablier de la deuxième bascule qui est celle de la régie, et qui est rendue extra-sensible par la position spéciale des couteaux. Si le poids est exact, le tablier de la balance reste au même niveau étant parfaitement équilibré. Si le poids est trop fort, le tablier s'enfonce, et il est impossible au wagonnet d'aller plus loin à cause de la solution de continuité des rails qui le calent. Si, au contraire, il est trop léger, le tablier remonte et deux cales l'arrêtent au plafond du tunnel. Il faut, dans les deux cas, revenir en arrière pour parfaire le poids. Lorsque la pesée est exacte, le wagon va jusqu'à la trémie où il se vide automatiquement.

Telle est l'économie du système qui comporte une série de détails des plus ingénieux et qu'il est difficile d'expliquer sans dessin. Il a été approuvé par la régie comme les précédents.

CHAPITRE II

EXTRACTION DU JUS

§ 1. — Généralités.

L'un des points principaux de la fabrication, après celui d'avoir de bonnes betteraves, c'est d'avoir du bon jus. Or, ce n'est pas chose si facile que l'on pourrait le croire tout d'abord, et je dirais même que si l'on éprouve quelques difficultés dans le courant de la fabrication, elles proviennent le plus souvent de l'atelier de l'extraction du jus ou de quelque négligence dans le courant du travail d'épuration.

Nous avons vu précédemment avec quelle facilité le jus s'altérait. Un jus est clair et jaunâtre en sortant des presses, par exemple ; un instant après il est violet foncé ; puis, s'il séjourne un peu, les fermentations commencent pectiques et visqueuses, sans compter le sucre qui se détruit sous l'action des acides. La première condition qui s'offre donc à nous dans le travail est la *grande rapidité* des opérations, depuis le moment où l'on touche à la betterave jusqu'à celui où le jus est mélangé au produit qui doit le préserver de l'altération, la chaux. Lorsque le jus est déféqué, avant qu'il soit concentré, il n'est plus sans doute aussi difficile à conserver que lorsqu'il sort des appareils d'extraction, tant s'en faut ; mais cependant il s'altère encore assez vite si l'on n'y prend pas garde, il s'acidifie et fermente facilement. Une bonne condition de travail est de tenir ce jus légèrement alcalin et bien chaud, la filtration ne s'en fait que mieux et les ferments ne peuvent s'y développer.

Les sirops sont moins sujets à l'altération ; ils peuvent attendre, mais pas trop longtemps, que leur tour de cuisson arrive, surtout après une filtration à chaud.

Enfin, une précaution de premier ordre pour obtenir un bon travail dans toutes les phases de la fabrication, condition trop négligée parfois dans les usines, souvent par la faute des constructeurs qui n'ont pas fait le nécessaire, c'est une très grande propreté. Pas de coin où l'on ne puisse laver et balayer, et si les bacs ne peuvent être assez près l'un de l'autre pour éviter toute chute ou séjour de jus ou d'écume, qu'il y ait toujours entre eux la place nécessaire pour passer le balai. Une

usine, où les recoins sont sales, est pleine de ferments de toute espèce, et parfois on est obligé d'arrêter la fabrication parce qu'il devient impossible de retenir le mouvement fermentescible qui envahit tout, même les masses cuites. Donc, ordre et propreté stricte ; que jamais les ouvriers ne mangent près de leurs chaudières, car les miettes de pain, pelures d'oignons et autres substances alimentaires sont de vrais ferments dont les débris engendrent la peste dans une usine. Nous avons constaté ces faits plus d'une fois, et tout d'abord on les pourrait attribuer à d'autres causes quasi occultes que le fabricant chercherait parfois en vain s'il n'était prévenu des graves désordres que ces riens occasionnent. C'est pourquoi le lavage fréquent et le chaulage de tous les bacs est de première nécessité, aussi bien que celui des pompes et tuyaux de jus, ou bien la vaporisation des appareils clos.

Ces observations faites, occupons-nous de l'extraction proprement dite.

§ 2. — Diffusion.

Généralités. — La diffusion est le seul procédé employé aujourd'hui pour extraire le sucre des betteraves, les autres disparaissant chaque jour. C'est seulement en 1876 qu'elle a fait son apparition en France, après ses succès en Autriche et en Allemagne.

Ce procédé repose sur les phénomènes d'osmose, en se servant de la membrane même de la betterave pour exécuter la dialyse, phénomènes que nous décrirons plus loin à propos de l'osmose de Dubrunfaut. En quelques mots la diffusion se pratique de la manière suivante : La betterave est coupée en *cossettes*, ou lanières minces, par une machine appelée *coupe-racines*. Ces cossettes sont déchargées dans des cylindres verticaux appelés *diffuseurs*, en nombre variable de huit à quatorze, placés en ligne ou en cercle, et reliés entre eux par des tuyaux et une robinetterie permettant la série d'opérations suivantes : soit faire passer les liquides de l'un à l'autre, par le haut ou par le bas, soit mettre la *batterie* des diffuseurs en communication avec un bac à eau élevé de plusieurs mètres au-dessus de son plancher, soit faire passer le liquide des diffuseurs dans un bac de décharge appelé *bac mesureur*.

Les liquides circulant dans la batterie ont besoin d'être réchauffés. On y arrive, soit en les faisant circuler dans deux réchauffeurs séparés de la batterie et travaillant alternativement, ce qui exige une robinetterie nouvelle, soit en munissant chaque diffuseur de son réchauffeur qui porte alors le nom de *calorisateur*, et qui est alors vertical à côté de chaque diffuseur et dans le circuit du jus allant de l'un à l'autre vase.

Ceci posé, on emplit les diffuseurs de cossettes et l'on y fait circuler de l'eau. Cette eau en passant d'un diffuseur à l'autre se réchauffe, et se charge du sucre contenu dans les cossettes par le phénomène d'osmose, et lorsqu'elle arrive au bout de la batterie elle est à un degré densimétrique presque aussi élevé que le jus normal de la betterave travaillée. On la reçoit alors dans le bac mesureur, et de là on l'expédie à la carbonatation pour être travaillée.

Nous verrons plus loin le détail de l'opération, la description succincte qui précède étant utile pour faire comprendre immédiatement l'ensemble du procédé.

Les premiers essais de diffusion sont dus à un Français, Mathieu de Dombasle, en 1821, sous le nom de *macération*. Mais à cette époque les connaissances chimiques de la constitution de la betterave étaient tout à fait primitives, et de Dombasle ne sut pas éviter les écueils que l'on rencontre dans ce travail. Il chauffait trop fort ses cossettes, pour *mortifier* les cellules, pensant ainsi extraire plus facilement le sucre. Mais il dissolvait en même temps nombre de matières organiques et entre autres les matières protéiques qui rendaient impossible le travail du jus.

Aussi le procédé de macération de Dombasle dut-il être abandonné.

Il fut repris, plus tard, en Allemagne, par Schutzmann et n'eut pas plus de succès pour la même raison.

C'est Robert, fabricant de sucre à Séelevitz, qui s'aperçut le premier des défauts de ce travail, et qui, en 1864 et dans les années suivantes, organisa le travail de la *diffusion* à peu près tel qu'il est employé aujourd'hui. Les travaux de Schultz et autres y mirent la dernière main. Enfin, c'est Quarez qui l'introduisit en France comme concessionnaire des brevets Robert.

Entre la *macération* et la *diffusion* il y a une différence considérable. La macération détruisait les cellules par la coction. La diffusion, au contraire, les respecte le plus possible, pour utiliser, grâce à elles, les phénomènes osmotiques. Le but et le modus opérandi sont essentiellement différents, et si le matériel d'exploitation est à peu près le même, le résultat y est tout autre. C'est pourquoi la macération a disparu et que la diffusion a résisté, victorieuse des difficultés sans nombre que rencontrait sa mise au point, et qu'aujourd'hui elle est répandue dans toutes les sucreries sans exception.

Si l'on examine ce qui se passe pendant la diffusion, on remarque que le jus est plus pur que par tous les modes de pression et de macération. D'abord, sachant les propriétés des matières colloïdes, albumine, mucilage, gomme et autres, de ne pas traverser les membranes par

dialyse, on comprend que la diffusion élimine la plus grande partie de ces matières qui restent dans la cossette, et cela d'autant mieux que les couteaux auront coupé d'une manière plus parfaite la betterave.

Dans la macération proprement dite, l'acide métapectique (gomme insoluble du D^r Scheibler), qui est retenue dans les cellules, se gonfle de plus en plus lorsqu'on l'abandonne longtemps en contact avec l'eau, et parvient, à un moment donné, à traverser les membranes. C'est ainsi que les jus du procédé Schutsenbach étaient généralement visqueux. La diffusion présente toujours à un degré moindre les mêmes inconvénients. Dans les derniers cylindres, c'est-à-dire dans les diffuseurs contenant la cossette épuisée et les jus les plus faibles, on constate souvent des traces d'acidité provenant justement de cet acide métapectique ; c'est pourquoi les fabricants qui ont essayé de combattre cette acidité au moyen de la chaux ont toujours eu des résultats négatifs, car le métapectate de chaux est soluble dans l'eau qu'elle rend visqueuse, en sorte que, au lieu de diminuer le mal, ils l'augmentaient. Le D^r Stammer a traité par la chaux, puis concentré des portions de jus faible retiré de divers diffuseurs d'une batterie de 11 vases. Dès le neuvième vase, le jus faible donnait une masse cuite plus ou moins visqueuse ne déposant aucun cristal et redissolvant même une amorce de sucre en cristaux. Les masses cuites des dixième et onzième cylindres étaient encore plus mauvaises ; une odeur repoussante leur enlevait jusqu'à la moindre ressemblance avec les mauvais bas-produits des usines. Les jus faibles de diffuseurs n'ont donc aucun rapport avec ceux des presses, et c'est à l'acide métapectique que serait due en grande partie la mauvaise qualité de ce jus. On voit qu'il paraît complètement inutile de pousser l'épuisement des cossettes de diffusion aussi loin que cela s'est pratiqué dans quelques fabriques. Quant aux matières azotées, elles sont en bien moins grandes quantités dans les jus de diffusion que dans ceux des presses, dans le rapport de 1 % dans les jus de diffusion et 1,67 % dans ceux de presse.

Les cossettes, en sortant des diffuseurs, sont gonflées, ce qui tient à ce qu'une partie de sucre, pour traverser la membrane, correspond au passage en sens inverse de 7 parties d'eau. Cette quantité d'eau est fort difficile à enlever à la cossette des diffuseurs et les rend plus humides et moins bonnes pour les bestiaux que la betterave elle-même, si elles ne sont pas fortement pressées auparavant.

Aussi a-t-on imaginé divers systèmes de presses que nous décrirons plus loin pour extraire cette eau.

Nous allons passer maintenant à la description des batteries de diffu-

sion et de leurs accessoires, en même temps que nous indiquerons leur fonctionnement et la manière de les conduire.

BATTERIE EN LIGNE

Il y a deux modes principaux pour disposer les diffuseurs : en ligne ou en cercle. Cette dernière disposition est la plus récente. Nous décrirons d'abord la disposition en ligne, avec réchauffeurs séparés et uniques pour toute la batterie. Cette disposition, fort ancienne, a été rejetée lors de l'invention des colorisateurs, mais on y est revenu depuis en Autriche.

La dimension et la forme des diffuseurs varie beaucoup. Le mouvement du jus dans leur intérieur devant avant tout inquiéter le constructeur pour assurer l'efficacité de l'épuisement et sa régularité, on a recherché quelle était la meilleure disposition à prendre. On place généralement les prises et sorties du liquide au centre des fonds des vases, et on donne à ces vases une forme cylindrique. La forme conique n'est pas rationnelle, car les liquides, dans leur mouvement, suivant les lois de la pesanteur, si la base inférieure est plus étroite que la base supérieure, il se fera un cylindre de mouvement de jus ayant pour base celle du diffuseur, et toute la portion du liquide comprise entre ce cylindre et les parois du diffuseur restera sensiblement stationnaire, d'où il résulte que les cossettes contenues dans cet espace ne seront pas épuisées. La forme cylindrique est donc naturellement indiquée par le mouvement du liquide lui-même.

L'emplissage se fait toujours par une porte centrale supérieure. La vidange des cossettes épuisées offre plus de difficulté. Autrefois on faisait plat le fond du diffuseur et la porte était latérale et arasait ce fond (fig. 24) ; il fallait alors terminer à la main le nettoyage. Ce système qui offre de réelles lenteurs a été abandonné. Mais on y revient à tort aujourd'hui parce que c'est celui dont l'établissement coûte le meilleur marché, tout en permettant, dit-on, la meilleure répartition des liquides. On a modifié cette forme et le fond a été fait alors conique, la porte s'ouvrant latéralement au cône (fig. 30), en sorte que toute la cossette pût s'échapper d'un coup. Dans d'autres installations, on a maintenu la forme cylindrique du diffuseur, et la porte se trouve remplacée par un large clapet qui ferme tout le fond, ou bien se trouve à la partie inférieure d'un cône formant le fond du cylindre. Dans ce cas, on a recours pour maintenir l'étanchéité du joint à un mode spécial de fermeture, dit *fermeture hydraulique*. On ménage dans l'épaisseur de la fonte, à la partie

inférieure du diffuseur sur laquelle s'appuiera la porte, une rainure dans laquelle on place un tube en caoutchouc, et dans ce tube, lorsque le fond est appliqué contre le cylindre, on fait une pression d'eau. Le tube s'applique dès lors fortement contre le diffuseur et contre le fond, en sorte qu'il forme fermeture hermétique sans nécessiter un serrage énergique du fond qui eût été difficile à réaliser. Pour ouvrir le fond, on cesse d'exercer la pression dans le tuyau de caoutchouc, et le desserrage est alors très facile.

La capacité utile d'un diffuseur est très variable, depuis 1 mètre comme autrefois en Autriche, jusqu'à 5 à 6 mètres cubes ; à Pont-d'Ar-

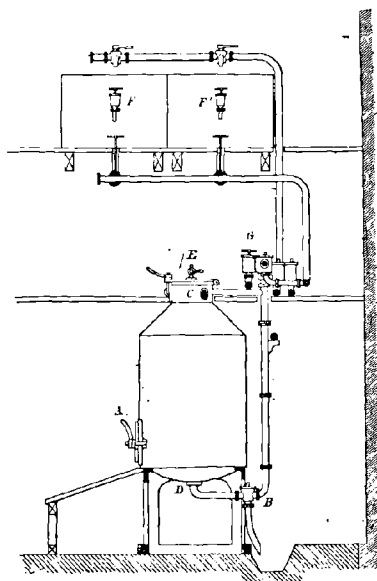


Fig. 24.

dres on a construit les batteries avec diffuseurs de 84 hectolitres dont on est absolument satisfait. Leur nombre est variable, on en emploie six, huit, dix ou douze et même quatorze par batterie. Aujourd'hui on considère ce dernier nombre comme le meilleur.

Si nous considérons les anciens diffuseurs à vidange latérale (fig. 24), nous voyons qu'ils sont placés côte à côte sur un châssis en fer et fonte qui les élève à 1^m,50 environ au-dessus du sol, la porte de vidange A donnant sur un plancher incliné d'où seront enlevées les cossettes épuisées par un procédé quelconque, courroie sans fin horizontale, chemin de fer, etc. Sur ce plancher elles perdront la majeure partie de leur humidité que les presses *Cluzemann* seront chargées de diminuer encore

pour les rendre comestibles aux bestiaux. Ces portes sont carrées, en fonte, ainsi que leur châssis rivé sur la calandre des diffuseurs. Elles sont maintenues en place par un étrier à vis, et étanches par une garniture en caoutchouc placée dans une rainure pratiquée dans le cadre. Pour opérer la vidange d'un diffuseur, on évacue d'abord les trois quarts de l'eau qu'il contient au moyen du robinet B ; puis on desserre la vis de l'étrier que l'on dégage complètement en donnant un coup sur la tête de la vis avec une pièce de bois ; la porte s'ouvre alors brusquement et le restant de l'eau entraîne la plus grande quantité des cossettes. L'homme doit donc se tenir de côté pour ne pas être entraîné par la masse ; puis il entre dans le diffuseur et, à l'aide d'un râteau de fer, puis d'un balai, il nettoie l'appareil.

Sur le fond supérieur est installée une calotte en fonte C qui traverse le plafond de la salle et se trouve dépasser de 25 à 30 centimètres le plancher de la pièce formant étage au-dessus de la salle des cylindres diffuseurs. Cette calotte est fermée par un couvercle avec garniture en caoutchouc hermétique, et porte latéralement une tubulure à bride donnant issue aux liquides du diffuseur, et sur laquelle se boulonne la tuyauterie. La calotte inférieure porte dans son centre une ouverture D sur laquelle se boulonne un tube coudé en fonte, pour unir le fond du cylindre à la tuyauterie générale. Pour que la cossette ne tombe pas dans cette ouverture, un faux-fond percé de trous se trouve placé au niveau du bas de la porte de vidange. Ce faux-fond est à charnières et se plie comme un volet pour pouvoir être introduit et sorti de temps en temps par la porte de vidange.

Le couvercle, à la partie supérieure du diffuseur, porte en son centre un robinet E qui permet de s'assurer de la présence immédiate du jus qui doit jaillir quand on l'ouvre, et en même temps de chasser les gaz qui s'accumulent à la partie supérieure des diffuseurs et empêchent la circulation régulière des liquides. On doit de temps en temps ouvrir ce robinet pour vérifier la marche de la batterie, et évacuer les gaz. Enfin une plaque de tôle perforée mobile, du diamètre de la calotte supérieure, empêche la cossette nageant dans le jus d'obstruer la tuyauterie.

Nous allons supposer le cas des réchauffeurs séparés, tels qu'on les installait autrefois, et, qui est le plus compliqué.

La tuyauterie générale se réunit en faisceau sur le plancher de la salle supérieure de la diffusion dans toute la longueur de la batterie. Elle se compose :

D'un tuyau amenant l'eau du réservoir supérieur de la fabrique placé à 12 mètres ;

D'un tuyau conduisant les jus faibles aux bacs réchauffeurs FF'.

D'un tuyau conduisant les jus forts à la défécation. (Ce tuyau porte à son extrémité, près des bacs, un robinet qui le ferme au besoin.)

D'un tuyau ramenant les jus faibles du réchauffeur dans les diffuseurs.

Tous ces tuyaux sont parallèles à l'axe de la batterie. Il y a en outre :

Un tuyau communiquant avec le haut du diffuseur ; un autre tuyau communiquant avec le bas du diffuseur et qui est vertical, puis un tuyau faisant communiquer le dernier diffuseur avec le premier. Ce tuyau est sous le plancher qui supporte les autres et court d'un bout à l'autre de la batterie, reposant sur des talons ménagés sur le tuyau vertical communiquant avec le bas du diffuseur. Enfin le tuyau horizontal qui relie le fond du diffuseur au tuyau vertical, est muni d'un robinet-valve permettant aux dernières eaux du diffuseur de s'écouler dans l'égout, robinet que l'on fait fonctionner du haut. Comme dernière addition, on peut avoir encore un tuyau qui met chaque diffuseur en communication directe par le haut. Ce tuyau demande un robinet spécial à chaque diffuseur. Comme il ne sert que par hasard, lorsque l'on a besoin de supprimer le jeu d'un diffuseur, nous n'en reparlerons plus.

Les quatre tuyaux principaux énoncés d'abord, ainsi que les deux suivants, sont réunis entre chaque diffuseur par une batterie de six robinets-valves G, communiquant tous entre eux et venus de fonte tous les six à la fois. Ils sont disposés en croix (fig. 25 et 26). Celui qui en

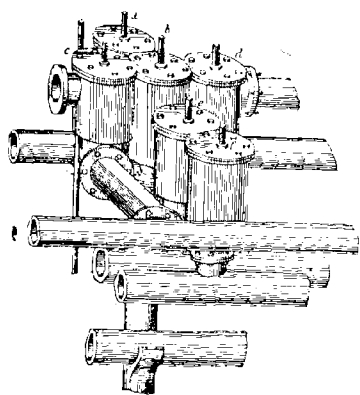


Fig. 25.

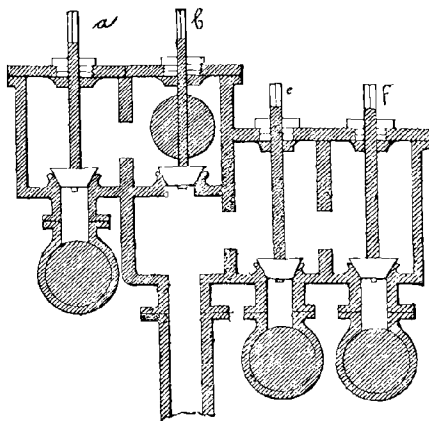


Fig. 26.

forme le centre communique par la partie inférieure, sous la valve, avec le bas du diffuseur, ainsi qu'avec les chambres supérieures des robinets-valves de la saturation et de la conduite aux réchauffeurs, qui, par cela

même, communiquent entre elles deux aussi ; en sorte que si l'on ouvre un quelconque de ces deux derniers robinets, celui du centre étant fermé le fond du diffuseur se trouve immédiatement en communication avec le tuyau correspondant, soit du réchauffeur, soit de la saturation. La chambre supérieure du robinet central communique avec celle des robinets à eau et à jus venant des réchauffeurs, ainsi qu'avec celle du robinet communiquant avec le haut du diffuseur ; de telle sorte que le robinet central étant fermé, et celui du haut du diffuseur étant ouvert, on peut faire passer dans le diffuseur, soit la pression d'eau, soit le liquide des réchauffeurs ; enfin, tout étant fermé, sauf le robinet central, on peut faire communiquer le fond du diffuseur avec un quelconque des autres tuyaux. Enfin il est une dernière combinaison qui consiste à fermer l'extrémité du tuyau conduisant à la saturation, d'ouvrir sur deux diffuseurs consécutifs le robinet correspondant à ce tuyau, et de la sorte les deux diffuseurs communiquent par leurs fonds, ce qui permet de produire dans l'un un mouvement de jus ascendant au moyen du courant descendant de l'autre et *vice versa*, méthode utilisée généralement pour emplir le diffuseur chargé de cossettes neuves, avec un jus fort réchauffé, lequel arrive plus froid, mais renforcé, à la partie supérieure, et tout prêt à partir pour la saturation sans revenir sur lui-même.

C'est ce que l'on appelle *meïcher* un diffuseur, du mot allemand *mais-chen* (mélanger). Ce mot est passé dans notre langage d'usine en venant d'Autriche avec la diffusion.

Voici dans le cas de ce mode de travail les différents robinets qu'il est nécessaire d'ouvrir et fermer : les robinets marqués en noir sont ceux qui sont ouverts (fig. 27 et 28).

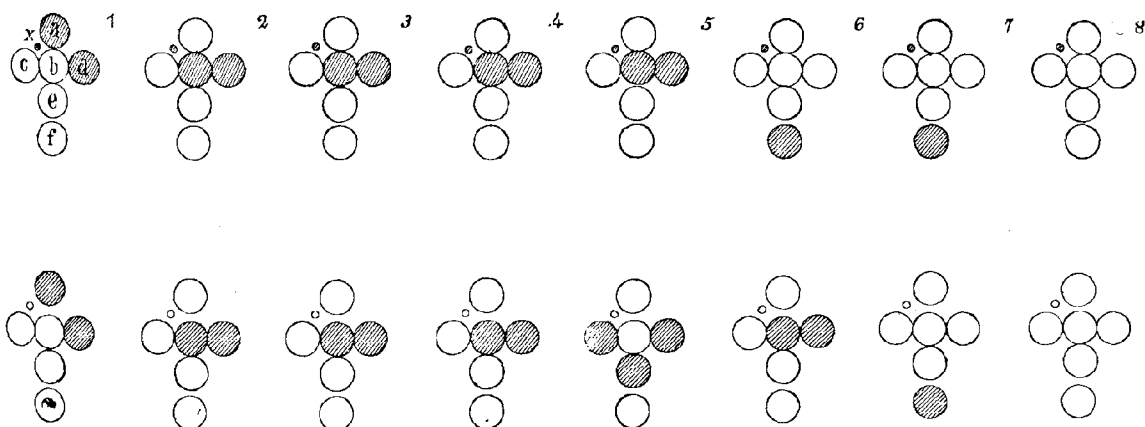


Fig. 27 et 28.

Légendes des figures 27 et 28.

(Les hachures indiquent les robinets ouverts).

a est le robinet d'eau.

- b — qui communique avec le bas du diffuseur.
 c — qui amène le jus du réchauffeur.
 d — qui communique avec le haut du diffuseur.
 o — qui conduit aux réchauffeurs.
 f — qui emmène le jus à la saturation.
 x — de vidange du diffuseur.

Dans la figure 27, le 8^e diffuseur étant en vidange :

Diffuseur n° 1. L'eau charge ce diffuseur.

- 2. Le jus du n° 1 passe en haut du 2.
 — 3. — 2 — 3.
 — 4. — 3 — 4.
 — 5. — 4 — 5.
 — 6. En macération.
 — 7. Le jus du n° 5 passe par la conduite de la saturation qui est fermée et emplit par en dessous le n° 7 chargé à neuf.

Quand le 7^e diffuseur est plein, on ouvre les robinets représentés dans la figure 28.

Diffuseur n° 1. L'eau charge ce diffuseur.

- 2. Le jus du n° 1 passe en haut du 2.
 — 3. — 2 — 3.
 — 4. — 3 — 4.
 — 5. — 4 va à l'un des réchauffeurs et le jus du second réchauffeur va au 5^e diffuseur.
 — 6. — 5 passe en haut du 6^e, chassant devant lui le jus du n° 6 qui va à la saturation.
 — 7 est en macération.
 — 8 s'emplit.

Après cette opération, on ferme tous les robinets du 1^{er} diffuseur, met la pression d'eau sur le second, et vide le premier.

Bacs réchauffeurs. — Pour compléter ce qu'il nous reste à dire de la diffusion en ligne, nous ajouterons que dans la même salle, à trois ou quatre mètres au-dessus du niveau supérieur des diffuseurs, on place côte à côte les deux bacs réchauffeurs dont nous venons de parler ayant chacun la capacité d'un diffuseur. Ces bacs sont munis d'un serpentín possédant un grand développement de surface de chauffe et placés dans le fond. L'un est en chargement ou déchargement, tandis que l'autre chauffe le jus. Le tuyau qui y amène le jus se termine par un robinet permettant de régler la force du jet et la quantité de jus à y introduire. La décharge se fait par le fond, également au moyen d'un robinet. Ces bacs sont remplacés aujourd'hui en Autriche, dans les usines qui ont

repris ce dispositif, par de grands réchauffeurs tubulaires de même capacité, et qui sont chauffés par la vapeur prise sur le quadruple-effet.

Un homme qui a la vue sur la batterie, et peut communiquer avec le chef d'atelier, dirige l'ouverture des robinets des réchauffeurs. Le bac à eau de la fabrique donne à la batterie la pression générale, ou pression hydrostatique, qui fait monter le jus dans les réchauffeurs. Ce bac à eau doit donc être à plusieurs mètres au-dessus des bacs réchauffeurs.

Quelquefois les bacs réchauffeurs ont la forme de monte-jus munis de serpentins, ce qui permet de les avoir sur le plancher des diffuseurs.

Calorisateurs. — Les réchauffeurs séparés de la batterie exigent un jeu de robinets spécial qui complique la manœuvre et fait perdre du temps ; en tout cas ces robinets supplémentaires peuvent être une cause d'erreur de la part des hommes de batterie.

On est arrivé à supprimer réchauffeurs et robinets en intercalant, sur le tuyau qui conduit le jus d'un diffuseur à l'autre, un petit réchauffeur appelé *calorisateur*, qui chauffe le jus au sortir de chaque diffuseur. De la sorte, le jus arrive graduellement d'un diffuseur à l'autre à sa température normale, et entretenu constamment à cette température pendant tout le temps du travail. Il en résulte une marche plus régulière de la batterie, une élévation moins élevée de la température du jus, puisque dans les réchauffeurs séparés on chauffe ce jus une fois pour toutes et que l'on doit tenir compte dans ce chauffage des déperditions de chaleur à venir, et, en fin de compte, une qualité meilleure du jus lui-même.

Les caloriseurs sont de deux sortes, à tubes ou à serpentins. Les caloriseurs tubulaires sont de véritables réchauffeurs formés de deux plaques en bronze dans lesquelles sont sertis les tubes de chauffage. L'enveloppe est en fonte et porte les tubulures nécessaires pour le mouvement du jus en haut et en bas, et pour l'arrivée de vapeur dans le centre avec sortie d'eau condensée au ras de la plaque du bas. Leur surface varie de 4 à 6 mètres carrés et plus suivant les cas.

La construction des caloriseurs tubulaires demande des soins, car les tubes sont longs, et leur dilatation provoque des fuites dans le sertissage, d'autant plus qu'ils changent continuellement de température, avec de grands écarts depuis celle de l'eau froide jusqu'à 75 et 80°. Aussi a-t-on cherché à obvier à cet inconvénient par différents moyens. L'un d'eux consiste à faire les joints sur la plaque du haut au moyen de presse-étoupes serrés par une contre-plaque, de manière à laisser le jeu à la dilatation. Mais celui qui réussit le mieux et qui est généralement employé maintenant est le suivant. Les tubes, au lieu d'être droits,

sont légèrement cintrés, avec une flèche de courbure d'un demi-diamètre ou d'un diamètre suivant la longueur, et, à cet état, sertis dans les plaques de serrage. La dilatation a pour effet d'augmenter légèrement la flèche de courbure sans fatiguer le sertissage. La chambre de vapeur du calorisateur est alors légèrement bombée en son centre pour permettre aux tubes de se loger sans frotter contre les parois.

On a fait aussi les calorisateurs à serpentins. Ceux-ci sont en tubes de 40 millimètres. Mais ces calorisateurs ont une très petite surface de chauffe, deux mètres environ, et obligeant à employer la vapeur à haute pression, ce qui est mauvais pour le jus qui se caramélise à son contact.

En Belgique, on a remplacé les calorisateurs par une injection de vapeur dans le jus.

Ce système, à première vue, semble condamnable, parce que la vapeur en se condensant allonge le jus de toute l'eau condensée. Mais, en pratique, comme l'injection ne se fait que dans les diffuseurs contenant encore du jus faible, l'eau condensée concourt dans la suite à épuiser les diffuseurs chargés de cossettes fraîches, et l'on ne s'aperçoit pas de la quantité d'eau ajoutée, quoi qu'elle représente à peu près 10% de la quantité du jus lorsque l'on emploie l'eau froide à la diffusion, et 6% en employant de l'eau à 40°.

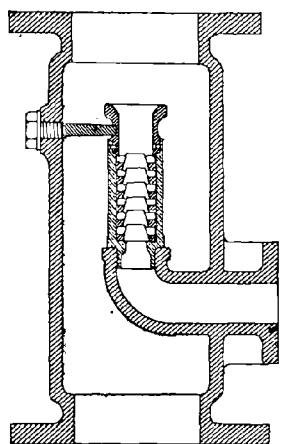


Fig. 29.

La difficulté que présente l'injection est la trépidation et le bruit que provoque la condensation de la vapeur dans le jus. On y a remédié en faisant usage d'un injecteur genre Kærting. Celui que nous représentons (fig. 29) se compose d'une cage en bronze à claire-voie dans laquelle on empile six petits troncs de cône en bronze portant des talons qui les éloignent l'un de l'autre d'une quantité déterminée, laissant ainsi dans le centre un conduit pour la vapeur. Un bouchon en forme d'ajutage, vissé dessus, maintient les troncs de cône en place. La vapeur, en traversant le système, entraîne le jus par les espaces laissés libres entre les troncs de cône, la condensation se trouve fractionnée et ralentie, et tout bruit est ainsi évité.

Coupe-racines. — Les coupe-racines pour batteries en ligne sont tous construits sur le même principe, et dérivent de la forme primitive donnée par Breitfeld à ces instruments. La véritable différence que l'on remarque dans les coupe-racines les plus modernes est la dimension et la vitesse de rotation du plateau. Le coupe-racines Breitfeld se compose

d'un plateau de 1^m,50 environ animé d'un mouvement de rotation horizontal rapide, 150 à 200 tours par minute. Ce plateau présente, selon son rayon, un certain nombre de lumières munies de couteaux de formes diverses et propres à couper la betterave en *cossettes*, aussi régulièrement que possible. Les couteaux sont des lames d'acier peu ou point trempées de 3 ou 4 millimètres d'épaisseur, amincies à partir de leur partie médiane en biseau tranchant. Il y a plusieurs formes adoptées pour cette partie tranchante. Nous y reviendrons tout à l'heure.

Les betteraves arrivant contre le plateau et étant tranchées comme par un rabot, les cossettes tombent au-dessous du plateau dans l'espace qui reste de la chambre où il tourne. Dans cet espace, mû d'un mouvement lent, un bras en fonte ramasse les cossettes et les ramène sur le devant de la machine pour les projeter dans des wagonnets.

Le mouvement de rotation est communiqué par un système d'engrenage placé au-dessous, dans le milieu du bâti de fonte qui supporte la machine. La crapaudine est mobile et peut se relever ou s'abaisser pour régler le jeu du plateau, lequel est enfermé dans une enveloppe en fonte avec couvercle en tôle boulonné présentant trois ouvertures : l'une, par devant, que l'on ouvre à volonté au moyen d'un couvercle à charnière, sert de regard pour changer les couteaux; les deux autres sont munies chacune d'une sorte de tuyau en tôle servant de trémie pour recevoir la betterave. En avant de la machine, l'enveloppe de fonte s'infléchit au-dessous du disque et prend la forme d'une vaste gouttière sous laquelle l'on amène les wagonnets destinés à charger les diffuseurs.

Les couteaux doivent être fort bien entretenus. On doit en posséder plusieurs jeux en bon état pour les rechanger chaque fois qu'il est nécessaire de le faire. Plus tranchants seront les couteaux, mieux coupées seront les cossettes, moins grand sera l'effort nécessaire pour trancher les racines, plus régulier et plus parfait sera le travail de la diffusion; c'est un point fort important dans la fabrication d'avoir des tranches bien nettes, et le jus peut devenir difficile, sinon impossible à travailler, par suite de négligence dans le renouvellement des lames.

Le débit d'un coupe-racine est proportionnel au nombre de couteaux et à la vitesse de rotation qu'il possède.

Mais il y a une vitesse circonférentielle que l'on ne doit pas dépasser pour obtenir de belles cossettes, et même les cossettes sont d'autant plus régulières que la vitesse est moins grande. Enfin une machine qui tourne très vite est plus sujette à dérangements qu'une autre allant plus lentement.

En se basant sur ces données les Autrichiens ont été amenés à construire des plateaux de très grand diamètre, plus de deux mètres. Avec

ces dimensions on peut mettre un bien plus grand nombre de portecouteaux sur le plateau, soit 12 au lieu de 6 ou 8, lui donner une vitesse moindre, 60 tours environ, puisque la circonférence parcourt un chemin proportionnel au rayon, d'autant plus rapide par conséquent que ce rayon est plus grand. Il en résulte un rendement supérieur, le nombre de coupeaux passant dans le même temps en un point donné étant plus considérable. Les nouveaux coupe-racines ont donc une grande supériorité sur l'ancien Breitfeld.

Dans les batteries en ligne, on charge les diffuseurs au moyen de wagonnets; deux wagonnets sont employés à ce service: l'un qu'on emplit de cossettes, tandis que l'autre se vide. Autrefois on avait des wagonnets à trois roues, la troisième placée derrière, mobile autour d'un axe vertical muni de manettes qui servaient à pousser les wagonnets. Le devant s'abattait à volonté, et était muni de joues se déployant, formant ainsi nochière pour conduire les cossettes dans les diffuseurs. A cet effet deux ouvriers étaient munis de crochets à trois dents pour le vider rapidement en tirant à eux la masse de cossettes, tandis qu'un troisième, muni d'une pelle en bois, poussait à l'intérieur. Le wagonnet contenait environ un demi-mètre cube de cossettes, soit 300 kilogrammes, la cossette non foulée pesant 608 kilogrammes le mètre cube. Une capacité plus grande aurait été difficile à manier.

Cette forme de wagonnets est partout abandonnée, on leur préfère un système établi sur rails aériens qui est fort ingénieux. (Voir la planche à la fin de l'ouvrage.)

Les rails courent immédiatement au-dessus de la batterie. Les wagonnets, qui ont alors la capacité d'un demi-diffuseur, sont des boîtes parallélipédiques ou cylindriques dont le fond présente deux plans inclinés. Ce fond se sépare alors par le milieu pour laisser tomber la cossette contenue dans le wagonnet, les deux parties étant retenues au repos par un crochet. Dans ces conditions une batterie possède trois wagonnets, deux pleins, un en emplissage. Aussitôt un diffuseur vide, on met sur sa porte du haut un grand entonnoir, on roule le premier wagonnet au-dessus, on ouvre le fond et le wagonnet se vide d'un seul coup. Puis on passe au second wagonnet et le diffuseur est plein.

Les wagonnets vides retournent au coupe-racines par une seconde voie, s'emplissent pour charger un autre diffuseur, et ainsi de suite.

L'usage de ces wagonnets a un grand avantage. Il accélère considérablement l'emplissage des diffuseurs qui peuvent être mis immédiatement en macération sans perte de temps. Aussi les batteries munies de ce système peuvent-elles faire plus de travail que celles ayant un emplissage lent, et le préfère-t-on dans beaucoup de pays aux en-

traineurs ou à l'emplissage direct usité pour les batteries circulaires.

Les *entraîneurs* se composent d'une courroie sans fin en gutta-percha courant entre deux plats-bords et formant ainsi une sorte de gouttière à fond mobile. Le système est parallèle à la batterie, légèrement en arrière des portes d'emplissage. Le coupe-racines est à l'extrémité de la gouttière et déverse ses cossettes directement sur la courroie.

En face de chaque diffuseur le plat-bord présente une porte dont la largeur est d'environ $\frac{1}{3}$ plus grande que celle de la courroie, et qui s'ouvre en dedans, en sens contraire du mouvement de la courroie, et en arasant celle-ci. Lorsque l'on doit charger un diffuseur, on ouvre la porte qui se butte sur la face opposée et fait ainsi obstacle à la cossette qui chemine avec la courroie. Il en résulte que la cossette arrêtée dans son mouvement de translation est obligée de passer par la porte ouverte et tombe dans le diffuseur. Avec ce système, le chargement dure un temps proportionnel au débit du coupe-racines. Aussi, comme nous le disions précédemment, doit-on avoir dans ce cas des coupe-racines très puissants et à grand débit, que l'on arrête après le chargement de chaque diffuseur si le suivant n'est pas encore vidé.

Enlèvement des cossettes. — Dans les batteries en ligne l'enlèvement des cossettes se fait très simplement, comme nous l'avons vu précédemment, en les entraînant sur une courroie sans fin ou par une hélice placée au-dessous du plancher sur lequel se vident les diffuseurs. Mais cette méthode réclame plusieurs hommes.

Depuis quelque temps on préfère supprimer le plan incliné, et creuser au pied des diffuseurs un vaste caniveau présentant au fond une pente de 5 ou 6 degrés. Dans ce caniveau on lâche la cossette et l'eau des diffuseurs. L'eau en s'écoulant entraîne avec elle les cossettes jusque dans une fosse placée à l'extrémité du caniveau et dans laquelle passe l'élévateur des presses à cossettes.

Lorsque le caniveau est bien cimenté, qu'il a un peu servi, que ses parois sont devenues glissantes, les cossettes n'y séjournent pas longtemps, entraînées entièrement par chaque lavage. Ce système va très bien et supprime complètement les ouvriers du fond. Le seul inconvénient c'est la grande profondeur à laquelle on arrive, à l'extrémité, dans la fosse de l'élévateur à cossette.

La fosse dans laquelle tombent les cossettes et l'eau doit être à claire-voie à une certaine hauteur pour laisser échapper l'eau, de manière qu'il n'en reste que dans le fond juste assez pour que l'élévateur ne trouve pas une masse trop compacte à saisir dans ses godets. Cette claire-voie est faite avec des barres de fer rond verticales, très rapprochées, qui

s'obstruent moins qu'une tôle perforée, et qui se nettoie en tout cas plus facilement avec un ringard.

La diffusion comparée aux presses hydrauliques offre une grande économie dans le personnel. Voici en effet comment on peut évaluer le prix de la main-d'œuvre dans les deux cas.

Travail de 200.000 kilos.

Diffusion.		Presses hydrauliques.	
1 fort gamin au coupe-racines	3 fr.	1 machiniste	5 fr.
1 machiniste affûteur de lames	6 »	1 râpeur	2,50
1 conducteur de batterie	6 »	2 lanceurs de sacs à 6 fr.40	12,80
1 gamin-aide	3 »	4 faiseurs de sacs	25,60
2 hommes aux cossettes	10 »	4 presseurs	25,60
1 gamin aux Kluzemann	3 »	2 dépresseurs à 4 francs	8 fr.
1 manœuvre pour balayer, nettoyer la chaîne aux cossettes, etc.	3 »	4 avanceurs de claies et sacs à 1 fr. 80	7,20
		5 secoueurs 2 fr. 80.	14 fr.
		1 laveur-chef de sacs	3 »
		3 laveuses de sacs à 2 francs	6 »
Jour	34 fr.	1 raccommodeur de claies	5 »
Nuit	34 »	1 laveur de claies	2 »
	68 fr.	1 femme pour faire sécher les sacs	1,25
		4 raccommodeuses de sacs	6 fr.
		1 balayeur	1,75
		Jour	125,60
		Nuit	125,60
			<u>251,20</u>

Il y a donc une économie de la diffusion sur les presses de 183 fr. 20 par jour pour un travail de 200.000 kilos, sans compter celle provenant de la suppression des sacs de laine, de la laine à raccommoder, du fer spaté, des rivets, etc., enfin du jus répandu qui doit entrer en ligne de compte pour un gros chiffre.

BATTERIE CIRCULAIRE

Les batteries circulaires se composent d'une série de diffuseurs disposés en cercle autour d'une fosse dans laquelle se décharge la cossette épuisée. Entre chaque diffuseur se trouve un calorisateur, et au-dessus de la batterie, dans l'axe de celle-ci, sur un plancher plus élevé, se trouve le coupe-racines. La betterave lavée parfaitement est montée au moyen d'un élévateur vertical sur un plan incliné qui la déverse dans le coupe-racines. Le coupe-racines reçoit son mouvement par en dessus,

et non par-dessous comme dans celui que nous avons décrit précédemment, de manière à permettre d'établir au-dessous une nochière qui reçoit la cossette et qui peut tourner dans l'axe du coupe-racines. De la sorte on dirige l'extrémité de la nochière successivement au-dessus de chaque diffuseur pour l'emplir, sans avoir besoin de toucher aux cossettes, ce qui assure beaucoup de propreté dans le travail, une certaine rapidité dans l'emplissage, et permet au coupe-racines de rester quelques instants en repos, assurant ainsi l'impossibilité d'un échauffement des parties frottantes.

Les diffuseurs sont disposés de manière qu'ils puissent se vider complètement d'un seul coup, par l'ouverture de la porte, dans la fosse à cossettes. Cette fosse porte un plancher à claire-voie; la majeure partie du liquide s'écoule dans un égout, tandis que deux hommes armés de fourches jettent la cossette sur les palettes d'un élévateur incliné qui se déverse dans un trémie dominant les presses Kluzemann. D'autres fois une hélice placée dans le fond de la fosse remplace les bras des hommes.

Telle est à peu près l'installation de toutes les batteries circulaires qui ne diffèrent que par des détails. Nous décrirons comme exemple l'installation de la diffusion Mariolle et fils de Saint-Quentin, qui est représentée fig. 30, 31, 32, et nous en verrons deux autres formes à la fin de l'ouvrage.

Les diffuseurs se composent de trois parties distinctes (fig. 30 et 31). La calandre A qui est formée d'un cylindre en tôle d'environ 1^m,15 de diamètre extérieur et de 1^m,50 de hauteur. Cette calandre est en deux tronçons joints bout à bout pour éviter les obstacles au glissement des cossettes, et réunis par une frête sur laquelle ils sont rivés.

La calotte supérieure C, qui est en fonte, rivée intérieurement à la calandre, a la forme d'un tronc de cône très aplati, laissant au centre de la base supérieure une ouverture de chaque côté de laquelle la fonte se relève en forme de cylindre B, de 0^m,50 de diamètre extérieur et 0^m,30 de hauteur. Cette partie cylindrique est percée latéralement d'une ouverture D de 0^m,125 sur laquelle se boulonne la tuyauterie générale, et est fermée par-dessus avec un couvercle en fonte E portant dans une rainure une bague en caoutchouc pour faire le joint. Le couvercle est assujéti au moyen d'une vis de serrage dont l'écrou est dans le milieu d'un étrier en F placé au-dessus du couvercle suivant la direction d'un diamètre; il est fixé à de solides oreilles en fonte par des écrous qui en traversent les extrémités. Pour ouvrir le couvercle, on dévisse la vis de serrage. Mais l'extrémité de celle-ci est prisonnière dans une cavité ménagée dans le centre du couvercle qu'elle entraîne dans son mouve-

ment ascendant, et alors on peut déplacer ce couvercle parallèlement à lui-même en poussant l'étrier dont une extrémité G n'est qu'accrochée et l'autre tourne autour du boulon qui le retient et lui sert de pivot.

La calotte inférieure H est en fonte, rivée extérieurement à la calandre.

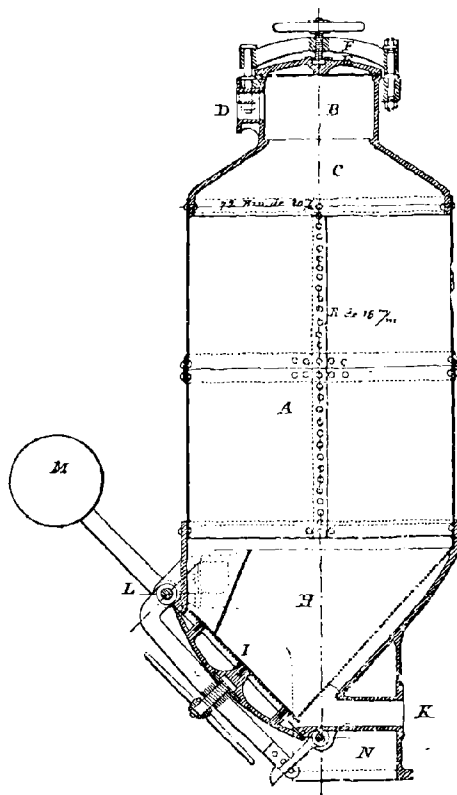


Fig. 30.

Sa forme générale serait celle d'un cône ; mais elle porte latéralement une large ouverture, I, de 0^m,72 de diamètre, dans un plan formant un angle de 45 degrés avec l'axe du diffuseur, ce qui altère la forme primitive. C'est par cette porte que se fait la vidange du diffuseur, tandis que l'écoulement des liquides se fait par une portion de tuyau K venue de fonte avec la calotte elle-même, qui est placée à la partie la plus basse du cône et présente un diamètre de 0^m,115.

La porte de vidange est fermée par un couvercle en fonte maintenu sur siège en caoutchouc, ou bien sur une fermeture hydraulique, au moyen d'une vis de serrage traversant un étrier, et dont l'extrémité

est prisonnière dans le centre du couvercle. Cet étrier tourne à une extrémité dans une charnière L placée au-dessus du couvercle, tandis que l'autre est retenue par un crochet mobile. Lorsque l'on veut ouvrir le couvercle, on desserre la vis de serrage, puis au moyen d'une tige on attire à soi le crochet qui retient l'étrier, et la porte poussée par le chargement du diffuseur et par son propre poids s'ouvre rapidement,

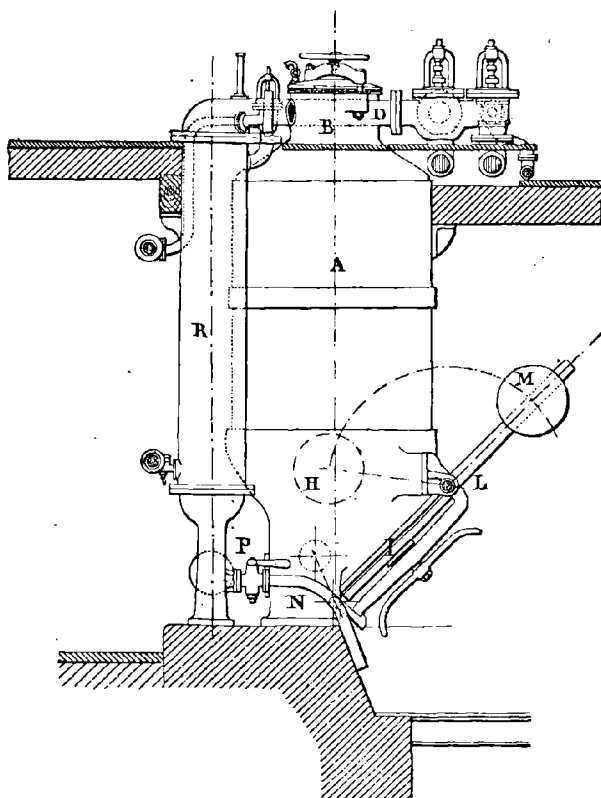


Fig. 31.

laissant échapper toute la cossette qui se vide jusqu'au dernier morceau, grâce à la forme conique du fond. Pour que la manœuvre du couvercle soit plus facile, un lourd contrepois M lui fait équilibre et le force même à rester béant jusqu'à ce que l'ouvrier juge nécessaire de le fermer. Le crochet qui retient l'étrier est lui-même muni d'un contrepois qui le retient en place et évite une ouverture prématurée au moment où l'on desserre la vis.

Enfin, à l'intérieur de cette calotte inférieure, se trouve une seconde

enveloppe formée d'une tôle perforée tenue à distance constante par des entretoises. Le couvercle lui-même porte une tôle perforée qui vient s'appliquer contre la précédente. Cette précaution a été prise pour permettre au jus de couler librement et sans être arrêté dans son mouvement par les cossettes qui sont maintenues par la tôle perforée. Cet espace n'est jamais obstrué par les cossettes, grâce à la disposition du couvercle. Pour terminer cette description, disons que tout le diffuseur est supporté sur un pied N venu de fonte avec la calotte inférieure, pied qui ne gêne pas la vidange et qui repose sur un socle en maçon-

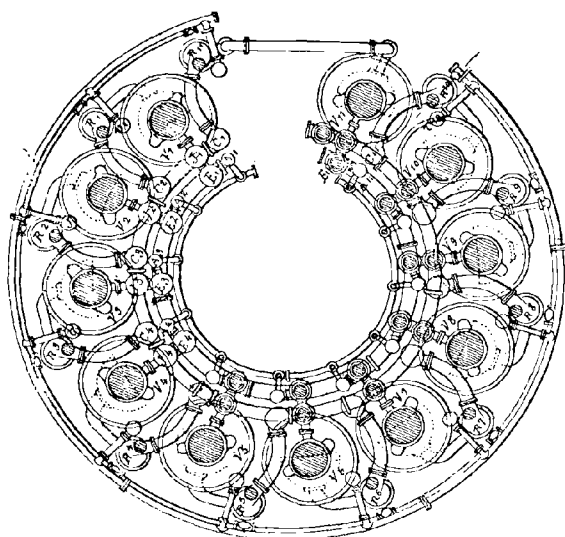


Fig. 32.

nerie. Il ne faut donc pas une charpente spéciale pour supporter la diffusion.

On construit ces diffuseurs de dimensions variables, mais tout à fait semblables à ceux-ci.

La batterie que nous représentons figure 32 n'a que 11 vases. Elle date de 1882. La *robinetterie* est disposée de la manière suivante : chaque diffuseur V 1 V 2 V 3, etc., porte une soupape C 1 C 2 C 3 exclusivement destinée à ouvrir ou fermer la communication d'un diffuseur à l'autre ; une soupape pour la prise d'eau E 1 E 2, etc., une soupape de prise de jus J 1 J 2 J 3, etc., pour envoyer les jus à la carbonatation. Toutes les soupapes à eau sont sur un même tuyau d'eau circulaire, de

même que toutes les soupapes à jus sont sur un même tuyau à jus qui va à la carbonatation et est fermé à son extrémité par une soupape unique. Ce sont là les trois soupapes principales des diffuseurs. Il y a en outre une soupape de prise de vapeur $v^1 v^2 v^3$ pour les calorisateurs R 1 R 2..; un robinet d'air placé sur le couvercle; un robinet de vidange P (fig. 31) placé au bas des calorisateurs et enfin un robinet à air comprimé A^1, A^2, A^3 , placé sur le côté de la soupape à eau, dans le cas où l'on voudrait se servir de l'air comprimé pour chasser l'eau du dernier diffuseur.

Enfin, extérieurement à la batterie se trouvent les calorisateurs R qui sont placés dans l'angle de deux diffuseurs consécutifs. Ils reposent sur le massif de maçonnerie qui soutient toute la diffusion au moyen d'une colonne creuse qui sert elle-même de conduite pour les liquides, et rentre dans la tuyauterie générale. Au sommet des calorisateurs se trouve un thermomètre et un robinet d'essai pour prise de jus. Enfin, au bas des calorisateurs, on voit un clapet de retenue pour l'évacuation des eaux condensées.

Grâce à ces dispositions de robinetterie, voici comment marchent les jus dans la batterie. En supposant que l'on emplisse de cossettes le 11^e diffuseur, le 10^e étant meiché, c'est-à-dire rempli de jus en établissant le courant par en dessous, c'est le 9^e qui sera envoyé à la carbonatation sous la pression de l'eau qui s'exercera sur le 1^{er} diffuseur. A ce moment, on mettra la pression d'eau sur le 2^e diffuseur, on videra le premier, et on enverra sur le 11^e diffuseur une charge de liquide provenant encore du 9^e. Pendant tout ce temps-là, le 10^e est resté en macération. C'est à son tour alors à aller à la carbonatation, et ainsi de suite. On peut aussi envoyer à la carbonatation le jus du 10^e diffuseur immédiatement après le meiché, comme nous l'avons vu précédemment.

Circulation. — Le jus circule dans la batterie sous l'effort d'une pression obtenue, soit en élevant le réservoir d'eau d'alimentation, soit en poussant l'eau au moyen d'une pompe avec ou sans accumulateur, soit en poussant encore l'eau au moyen de l'air comprimé.

Ce dernier moyen est surtout employé dans les usines où l'eau manque, et nécessite l'emploi de compresseurs d'air. Ces appareils sont des pompes, ordinairement enfermées dans un réservoir d'eau courante pour refroidir le cylindre qui s'échauffe par la compression. Les soupapes d'aspiration sont généralement sur les fonds du cylindre, et les soupapes de refoulement dans une boîte sur laquelle se boulonne le tuyau pour l'air comprimé. Celui-ci se rend dans un ou deux grands cylindres servant de réservoir d'air pour les usages de l'usine. Car outre

son usage à la diffusion, on l'emploie aussi parfois dans des monte-jus en guise de vapeur, ce qui est une grande économie.

Nous décrirons d'ailleurs différents systèmes de pompes à compression dans l'article « Acide sulfureux », ce sont les mêmes qui servent à tous ces usages.

Coupe-racines. — Les coupe-racines (fig. 33) pour les batteries circulaires, diffèrent de ceux que nous avons décrits pour les batteries en ligne, en ce sens que la vidange au lieu d'être latérale se fait par-dessous dans un entonnoir A, placé dans l'axe de la diffusion et qui dé-

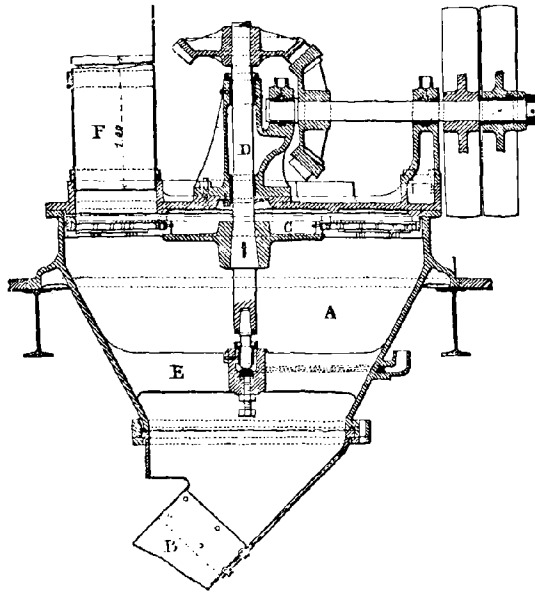


Fig. 33

verse directement les cossettes dans les diffuseurs au moyen d'une no- chère inclinée B. Il est donc impossible que la transmission de mouve- ment se fasse par en dessous, aussi l'a-t-on établie par en dessus. Ici, deux systèmes sont en présence, à cause de la difficulté de soutenir l'axe vertical de rotation. Les uns le soutiennent simplement au moyen d'une crapaudine dans laquelle tourne l'extrémité inférieure de l'axe ; les autres, laissant complètement libre le dessous du plateau, le font tourner dans un collier sur lequel repose une série de galets plongeant dans l'huile et qui s'appuient eux-mêmes sur un épaulement de l'axe.

Le premier procédé est le plus simple, et le meilleur, c'est celui que nous allons décrire ; le second chauffe beaucoup. Cependant on lui a fait subir des modifications importantes dans ces dernières années, dont la plus intéressante est de faire les roulements à billes, ce qui évite tout échauffement.

Le plateau C a 1^m,36. Il est claveté sur un axe vertical D dont la partie supérieure tourne dans deux coussinets de bronze, et l'extrémité inférieure, dans laquelle est rapportée un tourillon d'acier, pivote dans une crapaudine. Celle-ci est formée d'un coussinet de bronze dans lequel tourne le tourillon, et d'un grain en acier sur lequel repose l'extrémité arrondie du tourillon, qui lui-même est soutenu par un écrou permettant de le soulever ou de le baisser à volonté pour rattraper le jeu nécessaire au bon fonctionnement de l'appareil. Le pivot est noyé dans l'huile.

L'extrémité supérieure de l'axe vertical reçoit une roue d'angle à dents en fonte actionnée par une autre roue d'angle à dents en bois dont l'arbre horizontal reçoit une poulie motrice et une poulie folle.

Tout le système est soutenu par un bâti en fonte en forme d'entonnoir A. Une traverse E, au bas de l'entonnoir, venue de fonte avec lui, soutient la crapaudine ; sur l'entonnoir en forme de couvercle est une pièce de fonte qui supporte les coussinets de l'axe vertical et ceux de l'arbre moteur. La poulie motrice et la poulie folle sont en porte-à-faux à l'extrémité de cet arbre.

Sur ce couvercle sont différentes ouvertures ; l'une qui reçoit une large trémie F d'un mètre de haut dans laquelle s'accumule la betterave ; l'autre, par devant, qui permet de visiter le plateau tournant, et de placer les couteaux.

Les couteaux qui forment bout à bout une longueur de 30 centimètres, deux pour chaque lumière, sont supportés sur une glissière qui se place du centre à la circonférence, pénétrant ainsi dans des rainures pratiquées dans le plateau, de telle sorte que la force centrifuge les maintient elle-même en place. Le couvercle de l'appareil qui se trouve à une distance de 5 centimètres du plateau, présente deux nervures circulaires concentriques, espacées de 32 centimètres, pour guider la betterave au-dessus des couteaux. Le plateau lui-même présente également deux nervures semblables et opposées à celles du couvercle, de telle sorte qu'entre ce double système de nervures il n'existe qu'un espace restreint de quelques millimètres par lequel les semelles ne peuvent pas passer.

Enfin, le bâti présente extérieurement une embase circulaire à grand développement qui repose sur les poutres en fer destinées à supporter l'appareil. Au-dessous de l'entonnoir s'adapte une nochière inclinée B

destinée à porter la cossette dans les diffuseurs, et qui, par conséquent, doit pouvoir tourner sur elle-même. A cet effet, sa partie supérieure est

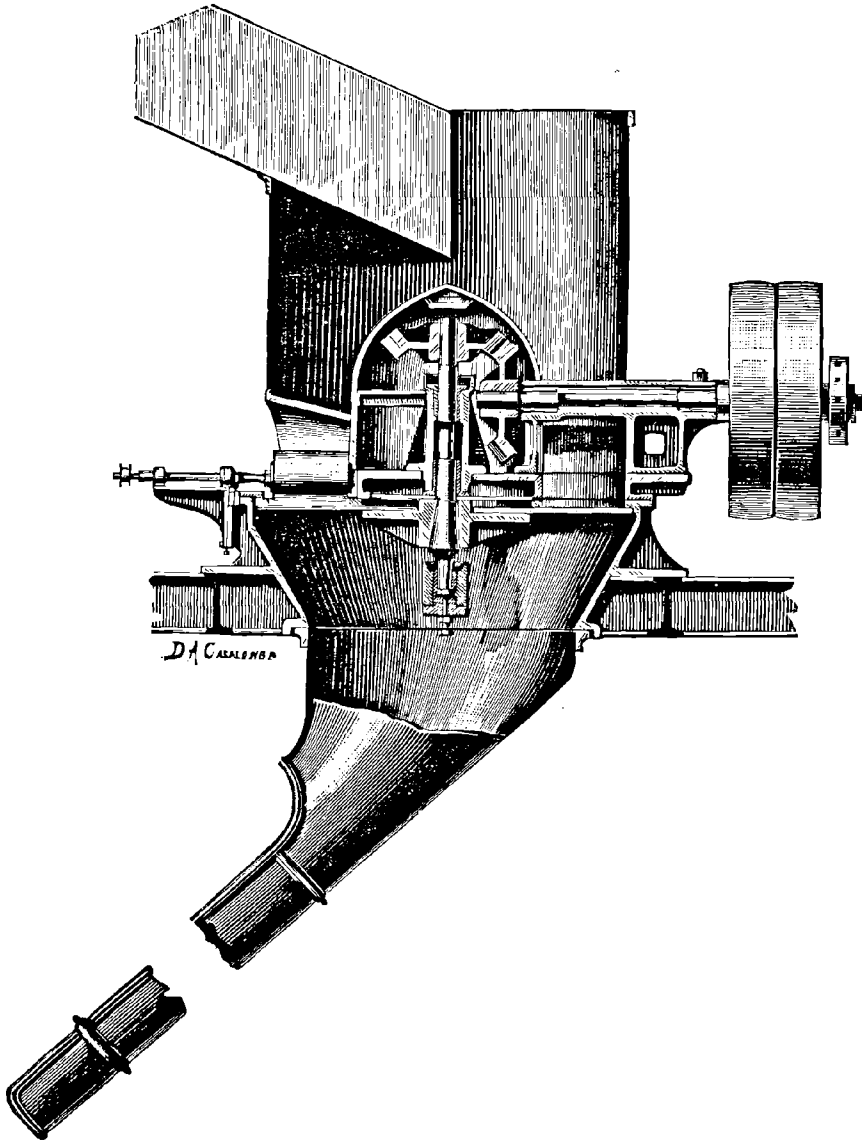


Fig. 34

en fonte et fait suite à l'entonnoir. Seulement elle présente une saillie circulaire prisonnière à frottement doux dans une rainure pratiquée

dans la partie inférieure de l'entonnoir, rainure formée de deux pièces boulonnées pour le démontage, et parfaitement lubrifiée d'huile, ce qui permet une rotation facile de la nochière. Celle-ci est en tôle, et son extrémité inférieure est munie d'un obturateur équilibré par un contre-poids qui permet de la fermer lorsque l'on veut arrêter momentanément l'arrivée de la cossette au diffuseur.

Le coupe-racines que nous venons de décrire, quoiqu'étant aussi perfectionné que possible, offre un inconvénient commun à tous ceux de cette espèce, et aussi à ceux des batteries en ligne. La trémie dans laquelle tombe la betterave se sépare en deux pour passer par-dessus les engrenages et laisser une porte nécessaire au changement des couteaux. De la sorte la betterave ne se trouve coupée que sur une partie de la surface du plateau, en deux points extrêmes qui s'équilibrent bien, mais on perd ainsi une partie de l'effet utile que pourrait avoir le coupe-racines.

Aussi a-t-on cherché à remédier à cet inconvénient pour que le plateau coupe sur toute sa surface.

Maguin, à Charmes, construit des coupe-racines répondant à ce desideratum (fig. 34). Les engrenages sont sous une cloche maintenue par la trémie, et l'emplacement d'un seul couteau se trouve recouvert par une armure qui permet le changement sans être forcé de vider entièrement l'appareil. De la sorte, le plateau coupe à peu près sur toute sa surface, et le rendement du coupe-racines est d'autant augmenté.

D'ailleurs les coupe-racines Maguin sont, comme les précédents, à crapaudine inférieure, ce qui assure la parfaite stabilité de la rotation du plateau. De plus des barrettes verticales empêchent la betterave de suivre le mouvement du plateau.

Les plateaux dans les grands coupe-racines Maguin ont 1^m,800 de diamètre avec une vitesse de 63 tours ; ils doivent donc fournir de bonnes cossettes.

Couteaux. — Il y a plusieurs formes de couteau usitées pour la diffusion, suivant la forme que l'on veut donner aux lamelles. En effet, on peut chercher à faire des lamelles plates ; mais on reproche aux lamelles plates de se tasser et de se superposer, de telle sorte que les liquides ne peuvent circuler facilement dans la masse et que la diffusion est défectueuse ; alors on a fait des lamelles à section de losange qui offrent moins cet inconvénient, puis on a imaginé de leur donner la forme *falrière* qui répond tout à fait aux besoins d'un bon épuisement.

Les seules lamelles que l'on produise sont donc celles qui proviennent des couteaux appelés Naprawil, qui font des cossettes plates, des cou-

teaux Goller, qui coupent des tranches à section de losange, et des couteaux faitières.

Les *couteaux Naprawil* (fig. 35) sont droits, affûtés sur une seule face. Dans cette opération on ménage dans l'épaisseur, aux distances voulues, des arêtes fines et tranchantes à intervalles égaux, et qui ont pour mission de découper en cossettes les tranches de betteraves enlevées par le couteau. L'épaisseur des tranches est réglée par l'inclinaison que l'on donne au couteau et la position d'un contre-fer placé en face, parallèlement au couteau, et vissé sur l'autre bord de la lumière. Autrefois les couteaux et les contre-fers se fixaient directement sur le plateau du coupe-racines. Aujourd'hui on les place et les règle d'avance sur un cadre appelé *porte-couteaux* que l'on engage au moyen de glissières dans les lumières; la force centrifuge ou un ressort approprié les fixent en place. Il faut deux couteaux dans le prolongement l'un de l'autre pour couvrir chaque lumière.

Les *couteaux Goller* (fig. 36) présentent leur tranchant sous la forme de zigzags réguliers taillés dans l'épaisseur du fer avec un angle de 60° au sommet de chaque angle. Ils découpent donc dans la betterave des

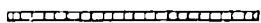
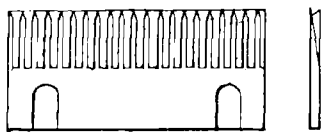


Fig. 35

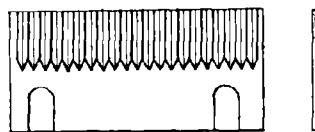


Fig. 36.

triangles réguliers. En alternant ces couteaux, c'est-à-dire que d'une lumière à l'autre le sommet d'angle d'un triangle corresponde à la base de l'autre, on aura des cossettes en forme de losange. Dans le montage du contre-fer il faut avoir soin que celui-ci soit un peu plus haut que le sommet des angles renversés. On fait des couteaux Goller soit en taillant la denture dans une plaque d'acier de dimension, soit en ondulant de la tôle d'acier que l'on affûte ensuite. Ces derniers, aussi bons que les autres, ont l'avantage d'être d'un prix de revient bien inférieur.

Les couteaux *faitière* (fig. 37) participent du Naprawil et du Goller. Ce sont des couteaux Naprawil dont la lame a la forme du Goller au lieu d'être plate, chaque sommet d'angle sur la face supérieure étant garni d'arêtes tranchantes. Il en résulte que chaque passe du couteau sur la betterave détache une petite gouttière triangulaire ayant la forme des tuiles fai-

tières que l'on met sur les toitures des maisons, d'où leur vient le nom que portent les cossettes et les couteaux de ce modèle.

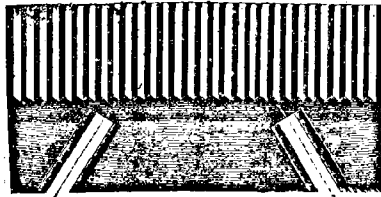


Fig. 37

Les *porte-couteaux* sont des cadres d'acier sur lesquels on fixe, au moyen de boulons, les lames et contre-lames, et dans lesquels on règle les distances et les inclinaisons. La position des contre-lames est fort importante à observer, aussi a-t-on cherché à rendre la partie qui les supporte articulée pour faire ce réglage plus facile et aussi exact que possible.

Le choix du couteau que l'on doit employer avec les différentes natures de betteraves que l'on a à travailler est très important. Avec les racines spongieuses ou gâtées on doit faire de très grosses cossettes, sinon elles se mettent en paquet et la diffusion est impossible. Lorsqu'au contraire on a des betteraves très riches, à chair dure, on a avantage à avoir des cossettes fines, car la diffusion y est beaucoup plus rapide et complète, et, grâce à la fermeté de la chair, les cossettes se superposent sans se feutrer et la circulation dans le diffuseur est très bonne.

On fait trois dimensions de cossettes.

Les grosses cossettes ont 7 millimètres sur leur plus grande largeur.

moyennes	—	5,5	—
fines	—	4,5	—

Ces dimensions varient d'ailleurs un peu avec les constructeurs. On a en outre des *couteaux à doigts* pour la distillerie ou pour les betteraves gelées, dans lesquels chaque élément coupant est séparé par un espace vide. C'est une ressource pour les cas graves, mais dont heureusement on a rarement besoin en sucrerie. Les *porte-couteaux* ont également des formes différentes suivant les constructeurs.

Celui dont nous donnons le dessin, le *porte-couteau-épierreur* Maguin (fig. 38) présente dans la contre-plaque une série d'encoches disposées de telle sorte que les pierrailles, et autres corps lourds, filent sous la lame du couteau dans la trémie à cossettes, et par conséquent évitent la détérioration de ces couteaux. C'est un bon outil très répandu.

Pour régler les couteaux, on doit faire attention à ce que plus le cou-

teau sera incliné, plus longue sera la cossette, mais aussi plus difficilement le couteau mordra dans la betterave.

D'autre part, plus l'angle que fera le couteau avec le plan sera aigu, moins grande sera la résistance du coupe-racines, et plus jolie sera la cossette. Si cet angle est grand, la résistance sera considérable, et la cossette sera cassée sur toute sa longueur. Le coupe-racines est un rabot qui doit être réglé comme un rabot de menuisier.

L'épaisseur des cossettes est de 1 millimètre à 1^{mm},5 pour la division fine et va jusqu'à 2 millimètres avec la division moyenne, et 3^{mm},5 pour la grosse.

Il est évident que pour que la cossette ne soit pas cassée en passant sous le couteau, on doit donner à celui-ci et au porte-couteau un dégagement présentant une forme plus ou moins parabolique qui permette à la lamelle épaisse de se séparer de la betterave sans trop de froissement.

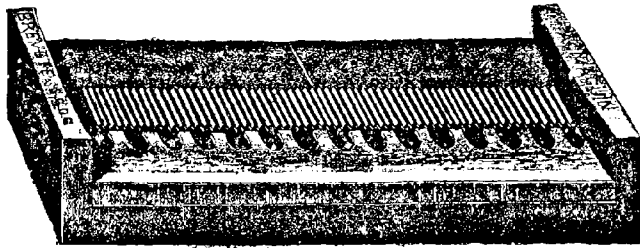


Fig. 38

C'est pourquoi on voit la coupe du couteau (figure 37) s'incliner de la partie coupante à la base. Le porte-couteau doit continuer avec la lame la même forme, sans saillie.

Le réglage du couteau se fait, soit en soulevant le couteau, si le contre-fer est fixe, soit en réglant la hauteur du contre-fer s'il est mobile. Une certaine distance doit régner entre le contre-fer et le couteau, 2 millimètres environ.

Ces différentes dimensions d'écartement et de saillie du couteau sont obtenues au moyen de gabarits ou lames de fer préparées d'avance par le contremaitre, un pour la saillie de la lame, l'autre pour l'écartement du fer et du contre-fer.

Nous avons vu souvent régler les couteaux d'après le poids que représente 1 mètre de cossette. A cet effet on prend une poignée de cossette, on pose les brins les plus longs bout à bout sur une table, et on en mesure une longueur de 1 mètre que l'on pèse. Cette expérience peut donner de bons renseignements aux fabricants et surtout leur prouver sans y aller voir, si les couteaux sont bien montés.

Lorsque les couteaux coupent bien et sont bien montés, que les barres d'arrêt de la betterave sont placées à une hauteur convenable dans le coupe-racines, et que l'on a trouvé le couteau le plus favorable à la betterave que l'on met en œuvre, la diffusion se fait bien et le jus se travaille facilement. Lorsque ces conditions ne sont pas remplies, les jus sont pleins de *pulpe folle* et se travaillent mal.

On doit donc changer les couteaux toutes les fois que la coupe n'est

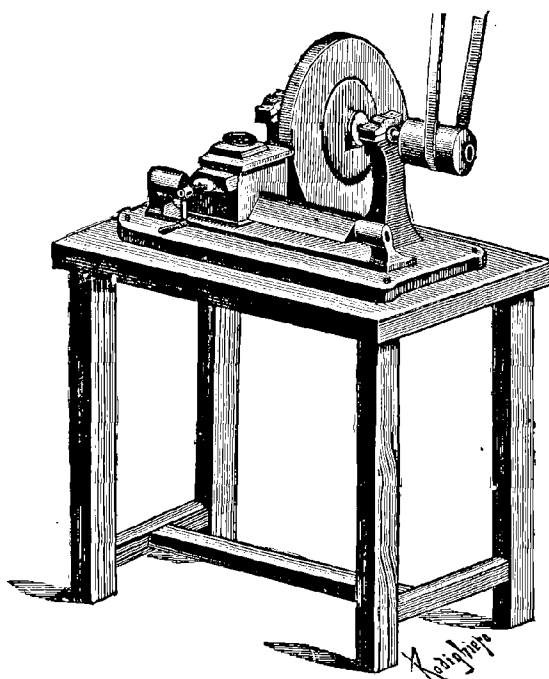


Fig. 39

plus bonne, que la pulpe folle commence à se montrer dans les transporteurs.

C'est une très mauvaise méthode de changer les couteaux à heure fixe. Avec certaines betteraves bien propres et de bonne qualité les couteaux durent longtemps.

Avec les betteraves terreuses, malgré les lavages, et surtout les betteraves montées, les couteaux s'émoussent vite. Il vaut mieux dans ce cas changer les couteaux deux, trois, quatre fois dans un poste, que de produire des cossettes défectueuses et faire du mauvais jus.

Aussi beaucoup de fabriques en Allemagne, Autriche et Russie ont-

elles un coupe-racines de rechange pour ne pas perdre de temps. Selon nous c'est de l'argent bien placé.

Affûtage des couteaux. — L'affûtage des couteaux, après qu'ils ont servi, est une question de premier ordre pour la diffusion, puisqu'il est indispensable de leur donner une bonne coupe pour bien diffuser. De plus, cet affûtage est délicat à cause du profil de la lame qui doit couper sur tous les points également, et aussi de l'inclinaison radiale des rainures.

Autrefois on faisait cet affûtage à la main, maintenant c'est mécaniquement que se font toutes ces opérations, et on y a gagné en temps et régularité de coupe.

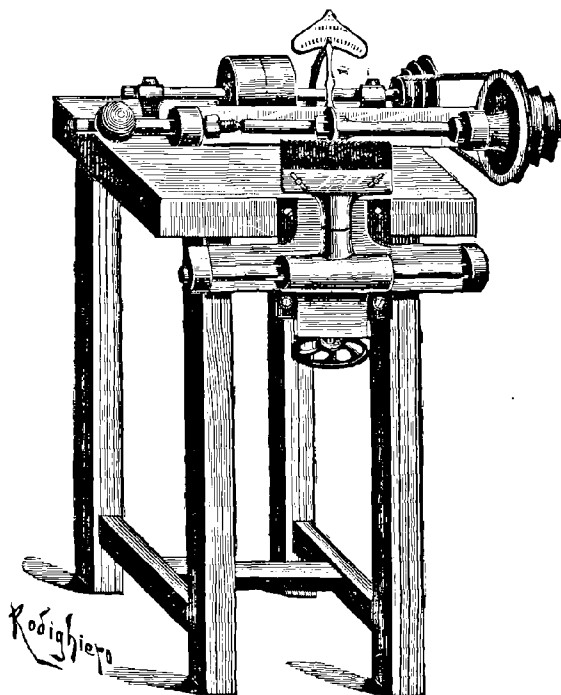


Fig. 40

Nous décrivons ici les appareils construits par Maguin pour cet usage.

Maguin construit deux outils distincts pour cet affûtage. L'un (fig. 39) est une meule d'émeri destinée à rendre parfaitement plane et droite la tranche des couteaux, lorsque ceux-ci ont été émoussés plus profondément en un point qu'à un autre par des pierrailles. Il faut alors

rogné le couteau sur toute sa longueur jusqu'à ce qu'on ait atteint l'extrémité de l'échancrure. Le couteau est placé dans une mâchoire qui se meut sur une glissière parallèlement à l'axe de la meule, avec chariot de rapprochement contre la meule.

Cette opération faite, on affûte la lame sur la machine (fig. 40). L'outil coupant est une petite fraise qui a le profil du couteau, et dont on oriente l'inclinaison suivant celles des rainures du couteau. Un cadran, placé au-dessus de tout l'appareil, indique le degré de l'inclinaison de l'arbre qui porte la fraise.

Le couteau est saisi dans une mâchoire mobile d'avant en arrière, sur un axe horizontal placé le plus bas possible, mais à une distance telle qu'il donne le coupant à la lame. La mâchoire et le couteau se meuvent également de droite à gauche et de gauche à droite, en glissant sur leur axe. De la sorte, l'ouvrier, saisissant le couteau et le présentant devant la fraise, affûte sans tâtonnement, et régulièrement, donnant partout un coupant égal.

Après cette opération, il y a un repassage à la lime. A cet effet, l'ouvrier est muni des limes de forme spéciale, qui lui permettent de faire facilement son travail.

Pour la fabrication des couteaux, on se sert des mêmes outils, mais tous les mouvements sont alors rendus automatiques, et l'ouvrier n'a qu'à placer la lame dans l'outil sans autre surveillance que de remettre d'autres lames quand les premières sont affûtées.

§ 3. — Conduite de la diffusion.

Il y a peu de temps encore, en France, on pensait que la diffusion ne pouvait donner que des jus légers. Certains mêmes pensaient que l'obtention d'un jus lourd serait un obstacle à la carbonatation et ne cherchaient aucunement à augmenter la densité du jus. C'est ainsi que l'on tirait bravement 150 de jus de 100 de betterave, quelle que soit d'ailleurs la qualité de la racine.

D'autre part, en Autriche, les lois fiscales, qui imposaient les sucreries d'après la capacité des diffuseurs, poussaient les fabricants à faire un lavage rapide de la betterave et à en extraire le plus de sucre possible dans un temps très court, et c'est à force d'eau qu'on y arrivait. Il n'était pas rare alors de tirer 200 de jus pour 100 de betteraves.

Mais tout cela est bien changé aujourd'hui. L'impôt se prélève partout d'une façon plus normale, qui n'affecte plus les produits de la diffusion ; les fabricants, d'autre part, ont fini par apprendre à carbonater

des jus lourds, et maintenant c'est à qui cherchera la meilleure méthode pour extraire à la diffusion des liquides ayant la densité la plus voisine possible du jus normal.

On a beaucoup discuté sur le moyen d'arriver à ce résultat ; puis des idées plus saines sur la théorie de la diffusion même se sont fait jour, et maintenant il est certains principes primordiaux dont on ne sort plus pour obtenir des jus denses.

D'abord il faut avoir de bonnes cossettes, par conséquent soigner les couteaux du coupe-racines pour qu'ils tranchent bien nettement la betterave, et n'avoir aucun arrachage, celui-ci faisant une espèce de pulpe tout à fait nuisible à la qualité du jus. Il faut aussi d'ailleurs que la betterave soit propre, car la terre introduite dans les diffuseurs a une action tout à fait défavorable au phénomène de la diffusion même. Les gaz dans les diffuseurs sont d'autant plus abondants qu'il y a plus de pulpe folle et de terre avec la cossette.

Il faut aussi extraire soigneusement les gaz qui se séparent de la betterave pendant l'acte de la diffusion, car ils gênent la circulation, se cantonnent dans les cossettes et diminuent l'épuisement.

Il faut faire de la cossette aussi fine que possible. Avec des betteraves à chair dure, comme en Russie, on peut employer des couteaux de division la plus fine. En France, on doit prendre une division intermédiaire parce que les racines ne sont pas aussi dures qu'en Russie. Mais chaque fabricant devra s'efforcer de choisir le couteau qui lui donne le plus de finesse dans la cossette appropriée avec la betterave dont il dispose.

On doit fouler les cossettes dans le diffuseur, les tasser de manière à ne pas faire de chambres, et introduire le poids de betterave le plus grand possible dans chacun. C'est un point tout à fait essentiel. Plus la betterave sera tassée régulièrement dans le diffuseur, plus celui-ci sera plein, meilleur sera le jus en qualité et en densité. On peut faire varier l'emplissage de 45 kilogrammes de betterave par hectolitre de capacité du diffuseur jusqu'à 55 kilogrammes et même plus, suivant les soins que l'on met au tassement. Il faut s'efforcer d'approcher des 55 kilogrammes, c'est de première importance.

Il faut entretenir toute la batterie à la température normale. Tous les diffuseurs doivent être chauffés régulièrement à la température convenable. Le chauffage à effets multiples a cela d'avantageux que la vapeur employée étant à basse température, on peut laisser tous les robinets de vapeurs ouverts sans crainte d'élever trop la température. Il en résulte que les thermomètres des premiers diffuseurs montent graduellement au degré normal et que toute la batterie se maintient chaude jusqu'au moment du meichage. C'est une excellente marche. Avec la vapeur directe il faut régler ses robinets pour obtenir le même résultat.

Enfin, comme l'a démontré Baudry (*Sucrierie indigène*, 1892) il faut retirer du diffuseur en tirage *au moins* toute la quantité de jus qu'il contient. Si on laisse du jus dans ce diffuseur, on en laissera aussi dans celui de queue, et l'épuisement sera mauvais.

La quantité de jus que contient un diffuseur est variable avec son emplissage. Un diffuseur qui est rempli à raison de 45 kilogrammes de cossettes par hectolitre de capacité, contient 57 litres de jus, tandis que celui dans lequel on a introduit 57 kilogrammes de cossettes ne contient que 45,72 litres de jus. On pourra donc tirer moins de jus d'une batterie où les cossettes sont fortement foulées que d'une autre dans laquelle on laisse du vide sur le diffuseur. Ceci paraît paradoxal, mais en y réfléchissant c'est tout à fait normal.

Tirant moins de jus, celui-ci est plus dense et l'on arrive au résultat cherché.

Il est évident aussi, dans ces conditions, que l'on obtiendra le meilleur résultat en ayant le plus de diffuseurs possibles dans la batterie. C'est pourquoi on a aujourd'hui des batteries de 14 diffuseurs et même 16, au lieu des 8 ou 10 dont on se contentait autrefois. Avec une longue batterie on pourra travailler plus vite, parce que le temps pendant lequel le jus est resté en contact avec la betterave est plus long. Mais ceux qui ont une batterie courte pourront obtenir du jus dense en laissant plus de temps entre chaque tirage.

Baudry a donné le tableau suivant pour indiquer la quantité de jus que l'on doit tirer de chaque diffuseur. Il ajoute 20 % à la quantité de jus théorique pour tenir compte des mélanges de jus au moment du déplacement du liquide d'un diffuseur par le suivant et de la capacité des calorificateurs, et il admet aux cossettes une densité de 1,050. Il recommande d'ailleurs les grands diffuseurs, comme les meilleurs pour le travail à haute densité et indique une capacité de 25 hectolitres comme la plus petite à employer.

PAR HECTOLITRE DE CAPACITÉ DU DIFFUSEUR			LITRES DE JUS A RETIRER		
Poids des cossettes	Volume occupé par les cossettes	Volume occupé par le jus	Théoriquement p. 100 kilogs de cossettes	Pratiquement avec dilution maximum de 20 p. 100	Par hectolitre du diffuseur au maximum
kilogs	litres	litres	litres	litres	litres
45	42,85	57,15	127,0	158,5	71,4
46	43,80	56,20	122,2	152,7	70,2
47	44,76	55,24	117,5	147,0	69,0
48	45,71	54,29	113,0	141,3	67,9
49	46,66	53,34	108,8	136,0	66,7
50	47,60	52,40	104,8	131,0	65,5
51	48,60	51,40	100,8	126,0	64,2
52	49,52	50,48	97,1	121,4	63,1
53	50,47	49,53	93,5	116,8	61,9
54	51,42	48,58	90,0	112,5	60,7
55	52,38	47,62	86,6	108,2	59,5
56	53,33	46,67	83,3	104,1	58,3
57	54,28	45,72	80,2	100,2	57,1

Ce tableau a été calculé de la manière suivante :

Soit p le poids de cossettes par hectolitre ;

δ la densité de la cossette ;

$\frac{p}{\delta}$ est le volume de la cossette.

Le nombre de litres de jus à retirer par hectolitre est

$$Q_1 = 100 - \frac{p \cdot 100}{\delta}$$

ou pour 100 kilogrammes de cossettes :

$$Q^2 = \frac{Q_1 \cdot 100}{p}$$

D'autre part, Dupont a publié le tableau suivant indiquant les quantités de jus à différentes densités fournis par la diffusion de 100 kilogrammes de betteraves de richesses déterminées. Ce tableau a été formé de la manière suivante :

Soit D la densité initiale du jus dans la betterave ;

d la densité du jus extrait par la diffusion ;

V le volume du jus à la densité d extrait de 100 kilogrammes de betterave, la densité de l'eau étant prise égale à 100.

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

		DENSITÉ INITIALE DU JUS DE LA BETTERAVE								
		5 ^o ,0	5 ^o ,5	6 ^o ,0	6 ^o ,5	7 ^o ,0	7 ^o ,5	8 ^o ,0	8 ^o ,5	9 ^o ,0
Densité du jus extrait par la diffusion	3,6	125	137	148	161	173	184	193	206	218
	3,8	118	134	143	152	163	174	185	195	206
	4,0	113	124	134	144	155	165	176	186	196
	4,2		117	127	138	147	157	167	177	187
	4,4		112	122	132	141	150	160	170	178
	4,6			116	126	135	145	153	162	170
	4,8			111	121	130	138	147	156	163
	5,0				116	124	132	141	149	157
	5,2				111	120	127	135	143	151
	5,4					115	122	130	138	145
	5,6					118	126	132	140	148
	5,8					111	118	126	132	140
	6,0						114	121	127	135
	6,2						110	117	124	131
	6,4							114	120	127
	6,6							110	117	123
	6,8								114	119
6,8								110	115	
7,0									112	
7,2									109	

Nous possédons différents travaux intéressants sur la diffusion et qui fournissent quelques données sur la manière la plus avantageuse de la conduire, ainsi que sur les meilleures proportions de ses différents éléments.

Température de la batterie de diffusion. — Battut a fait, en 1886, un travail très remarquable sur ce sujet. Il émet ce principe très vrai que le travail de la batterie sera d'autant meilleur que l'épuisement de la cossette sera plus régulier d'un diffuseur à l'autre. Et alors il a fait l'expérience suivante.

Ayant à sa disposition une batterie quelconque, il a prélevé en même temps des échantillons de jus sur tous les diffuseurs, et les a analysés.

D'après cette analyse, il a calculé la quantité de sucre qui avait diffusé dans le jus en passant d'un diffuseur à l'autre, et a représenté par une courbe le travail de la diffusion. Normalement cette courbe devrait être régulière du premier diffuseur jusqu'à celui qui est en meichage et baisser rapidement ensuite jusqu'à celui qui est en vidange.

Or, dans un premier essai, il a trouvé une courbe absolument baroque qu'il a attribuée au mauvais chauffage de la batterie. Il a modifié la méthode de chauffage et de proche en proche est arrivé à obtenir une courbe régulière. Il en a déduit des observations curieuses et une règle approximative du chauffage de la diffusion.

Il a remarqué que la température de 65° était celle qui était la plus favorable à la diffusion, et qu'il fallait pousser jusqu'à 75 à la fin pour

obtenir l'extraction maximum. Il a vu aussi qu'il était nécessaire de chauffer graduellement et qu'il était très préjudiciable d'avoir des sauts brusques dans la température de la batterie, et surtout de laisser refroidir le milieu de la batterie après avoir chauffé très fort au début pour réchauffer très fort à la fin, le milieu étant à une température plus basse.

Voici sur une batterie de 10 diffuseurs les températures qui lui paraissent les plus normales :

N ^o des diffuseurs.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Températures correspondantes :	35	58	65	65	65	66	66	73	75	18

Si l'on avait plus de 10 diffuseurs, la température de 65 devrait être conservée sur le plus grand nombre de diffuseurs possible pour monter à 75 dans un seul diffuseur, celui qui part à la carbonatation.

Ce mode de contrôle est intéressant et mérite d'être exécuté dans toutes les fabriques soucieuses d'une bonne marche de leur diffusion.

Proportions à donner aux diffuseurs. — Szyfer, en 1893, a étudié la meilleure forme à donner aux diffuseurs. Il avait une batterie de diffuseurs autrichiens dont le diamètre était égal à la hauteur. Il a doublé la hauteur pour faire plus de travail et a comparé les résultats obtenus. Enfin il s'est renseigné auprès d'un grand nombre de ses confrères de Pologne sur la marche de leur batterie et a mis en un tableau tous ces résultats. Pour ses recherches, il a dirigé sa batterie d'après le système de Battut que nous donnons précédemment, pour être certain d'avoir une marche normale.

De ce tableau très complet et très complexe, on peut déduire quelques remarques intéressantes.

1^o Le volume de jus soutiré par 100 kilos de betteraves pour obtenir l'épuisement de la cossette est variable avec la forme des diffuseurs.

Les diffuseurs cylindriques ayant une hauteur égale à 1,5 de celle du diamètre sont ceux qui lui ont donné les meilleurs résultats. Ainsi, avec la même betterave, pour avoir le même épuisement, il fallait tirer 140 de jus avec diffuseurs bas et 104 avec diffuseurs doubles de hauteur.

2^o La forme du cône supérieur qui termine le diffuseur a une influence sur l'épuisement de la cossette. Un cône trop aplati ne permet pas au jus de circuler dans les encoignures où la pulpe est toujours mal épuisée. Celui qui semble être le plus favorable présente un angle de 50° à 60°, ce qui donnerait 145° environ à l'angle fait par la paroi verticale avec la paroi inclinée constituant le cône, à l'intérieur du diffuseur. Il est à remarquer d'ailleurs que l'agrandissement de l'angle est natu-

rellement plus favorable au changement de direction des liquides. Le cône supérieur devrait avoir la forme d'une développante.

3° La vitesse avec laquelle le jus circule dans le diffuseur est un des principaux facteurs d'un bon épuisement. Les meilleurs rendements ont été obtenus avec une vitesse de 18 centimètres par minute, et les plus mauvais avec 40 et au delà.

4° La diffusion lente donne nécessairement de meilleurs épuisements que le travail rapide. Si l'on veut faire beaucoup de travail avec une petite batterie on n'épuise pas, à moins de tirer beaucoup de jus. Le travail de 24 à 27 kilogrammes de betteraves par hectolitre et par heure est celui qui permet de tirer le moins de jus avec le meilleur épuisement.

5° Une longue batterie donne de meilleurs épuisements et permet de tirer moins de jus qu'une batterie courte. L'auteur additionne la hauteur utile de tous les diffuseurs pour trouver la longueur totale de la batterie. Ainsi il trouve 32,6 mètres en activité dans une batterie dont les diffuseurs ont une hauteur de 2^m,25, soit 14,5 diffuseurs en activité sur 16.

6° Les diffuseurs les plus remplis donnent les meilleurs rendements.

De toutes ces données Szyfer considère comme les plus importantes: la quantité de liquide mise en contact avec 1 kilo de cossettes, et la vitesse avec laquelle ce liquide les traverse. Il pose la formule suivante :

Soit L le volume de jus en litres qui traverse 1 kilo de cossettes ;

S — qui traverse un diffuseur (bac jaugeur) ;

d le nombre de diffuseurs en travail ;

h leur hauteur ;

r leur rayon ;

M le nombre de litres nécessaire à l'écoulement de S ;

$\frac{S}{M}$ le nombre de litres par minute,

on a :

$$L = \frac{S d h}{\pi r^2 h} = 2 \cdot \frac{S d h}{\pi r^2 h}$$

d'autre part la vitesse du jus par minute sera :

$$V = \frac{2 S}{M \pi r^2}$$

Si l'on appelle Q le rapport de $\frac{L}{V}$, on a

$$Q = \frac{L}{V} = \frac{2 S d h}{\pi r^2 h} : \frac{2 S}{M \pi r^2} = M d$$

c'est-à-dire que le travail de la diffusion est proportionnel au temps que met le jus à circuler dans la diffusion et à la hauteur totale de la batterie.

Le temps que met le jus à circuler en présence de la cossette est fonction directe du diamètre ; la hauteur de la batterie est fonction directe de la hauteur et du nombre des diffuseurs.

On peut donc conclure de là que pour avoir un bon travail il faut avoir des diffuseurs larges et un grand nombre de diffuseurs. Quant à la hauteur du diffuseur, d'après les données de Szyfer, données expérimentales, nous avons vu que les diffuseurs ayant une hauteur égale à une fois et demie le diamètre sont ceux qui fournissent les meilleurs résultats.

Il résulte donc de ce travail, en dernière analyse, qu'il faut avoir de très grands diffuseurs ayant 1,5 de hauteur pour 1 de diamètre, une faible vitesse du jus dans les diffuseurs, et une longue batterie.

Enfin, on peut conclure aussi que la forme cylindrique du diffuseur est préférable, et si l'on a des parties coniques les angles doivent être très grands. En effet, ces parties coniques auront d'autant moins d'influence que la vitesse du jus sera plus petite ; et cependant l'épuisement dans les parties coniques sera moins bon, puisque la vitesse du jus s'y accélérera. La forme cylindrique complète du haut en bas est donc en tout cas la normale.

Résistance de la batterie. — E. Lizeray a fait, en 1893, dans la sucrerie de Lizy-sur-Ourcq, des essais sur la résistance que procure à la circulation du jus une batterie de diffusion à vide et en marche. Il a obtenu les chiffres suivants, la hauteur du bac à eau, ou charge totale de la circulation, étant de 14 mètres.

	Durée en secondes de l'écoulement de 18 hect. au bac jaugeur	Débit en mètres cubes par seconde	Vitesse en mètres par seconde pour orifice de sortie $S = 0,0104$	Hauteur représentative de cette vitesse $h = \frac{v^2}{2g}$
A blanc . . .	125	0,014400	1,385	0,0978
Cossettes de 4mm	167	0,010780	1,036	0,0547
— 3 1/2	202	0,007906	0,759	0,0293
— 3	235	0,007660	0,736	0,0276

Si H représente la charge de la batterie du bac à eau ;

h la hauteur représentative de la vitesse $= \frac{v^2}{2g}$.

R la résistance de la batterie à blanc ;

on a évidemment

$$H = R + h$$

Ici nous avons $H = 14 \text{ m}$, $h = 0,0978$ d'où $Q = 14 - 0,0978 = 13^m,9022$.

La batterie seule représente donc une force de résistance énorme. Mais si les diffuseurs sont pleins de cossettes, la valeur relative de la batterie diminue, la grande résistance étant celle de la betterave.

Dans ce cas le débit Q qui était de 0,14400 par seconde, devient Q' , plus faible comme on le voit sur le tableau.

Soit c la résistance due aux cossettes, R' la résistance nouvelle due à la batterie, h' la hauteur représentative de la vitesse v' du jus, on a évidemment encore, puisque H ne change pas.

$$H = R' + C + h'$$

L'auteur fait remarquer que dans R , comme dans R' , toutes les résistances partielles sont proportionnelles à Q^2 , car ces résistances se calculent dans des parties cylindriques ou coniques, et dans les calculs de tuyauterie H est proportionnel à Q^2 . Par suite en faisant varier Q les résistances individuelles des éléments varient (ce qui fait que R devient R') et l'on a :

$$R' = \Sigma r' = \Sigma \frac{Q'^2}{Q^2} r = \frac{Q'^2}{Q^2} \Sigma r = \frac{Q'^2}{Q^2} R.$$

on a donc R' en fonction de R , d'où l'on déduit la valeur de c pour chaque valeur de h' .

Le tableau suivant donne ces valeurs de R' et de C pour h' déterminé par le tableau précédent, H restant constant = 14 mètres.

	Hauteur représentative de la vitesse en mètres = h'	Résistance propre de la batterie = R'	Résistance due aux cossettes = c
A blanc.	0,0978	13,9022	0,0000
Cossettes de 4mm. . .	0,0547	7,8000	6,1453
— 3 1/2 . . .	0,0293	4,1800	9,7907
— 3 . . .	0,0276	3,9100	10,0724

On voit que, au fur et à mesure que la résistance des cossettes aug-

mente, la résistance relative de la batterie diminue, et devient de plus en plus négligeable. Elle devient même 0 quand les cossettes interceptent le mouvement, ce qui est le cas limite d'une batterie collée. L'auteur termine par cette considération non moins intéressante. Toutes choses égales d'ailleurs si on remplace les diffuseurs par d'autres dans lesquels le rapport $\frac{H}{D}$ est différent, la résistance due aux cossettes sera modifiée.

En effet, cette résistance ou perte de charge est de la forme

$$r = \mu \frac{L Q^2}{D^5}$$

et Q lui-même est fonction de D^2

$$Q = \alpha D^2$$

(voir les formules des tuyaux d'Aubuisson), donc

$$r = \alpha \mu \frac{L}{D}$$

$\alpha\mu$ est un coefficient facile à calculer; posons-le égal à a

$$r = a \frac{L}{D}$$

pour une autre batterie ayant d'autres proportions

$$r' = a \frac{L'}{D'}$$

d'où l'on tire

$$\frac{r}{r'} = \frac{D'}{D} \times \frac{L}{L'}$$

c'est-à-dire que les résistances augmentent avec la hauteur et diminuent avec le diamètre, à la première puissance. Ce fait était utile à constater, car à première vue on aurait cru pouvoir affecter ces données d'exposants quelconques qui n'existent pas.

Hauteur du bac à eau au-dessus de la batterie. — Barbet a fait, en 1879, des expériences intéressantes sur les pressions existant dans les diffuseurs, travail relaté par Arachequesne dans le journal *l'Alcool et le Sucre*. Pour se rendre compte des pertes de charge dues à la batterie, il avait installé des manomètres sur les trois derniers diffuseurs, et tracé la courbe des indications des manomètres à chaque phase de la diffusion pendant un tour de batterie.

La forme générale de cette courbe est sensiblement une ligne droite troublée par des sauts brusques en dessous et en dessus aussitôt que l'on ouvre un robinet. Il y a même une aspiration, un vide considérable au moment du meichage du diffuseur le plus voisin, ce qui explique les sauts au-dessous de la ligne droite après chaque meichage. Au contraire, il y a excès de pression au moment où l'on pousse au bac mesureur, toutes choses compréhensibles, mais qu'il était très intéressant d'observer.

La ligne droite part sensiblement du 0 et s'élève progressivement au-dessus de la ligne des abscisses, les ordonnées augmentant proportionnellement avec l'éloignement du diffuseur de la tête de la batterie. Quand le diffuseur se trouve en queue, qu'il pousse au bac mesureur, la pression (c'est-à-dire l'ordonnée) devient maximum.

Or, nous remarquons, dans le travail de Barbet, un point fort intéressant. D'après le rapport, la pression du bac à eau représentait une pression de 63 millimètres, c'est-à-dire une hauteur d'eau de $8^m,290$. Lorsque le diffuseur poussait au mesureur, la pression dans le diffuseur était de 57,5 millimètres, soit $7^m,566$. Il y avait donc entre le bac à eau en charge et la batterie en pleine pression une charge seulement de $0^m,724$. Il est donc évident que la perte de charge due à la batterie elle-même était très faible, puisque cette pression de $0^m,724$ était suffisante pour pousser le jus.

D'autre part nous trouvons dans le même travail quelques faits confirmant pleinement les conclusions que nous avons tirées du travail de Szyfer. Barbet a constaté en effet que, dans ses diffuseurs, le cône formant la partie supérieure étant très aplati, les angles étaient toujours chauds quand le liquide qui circulait dans le diffuseur était froid ; donc la circulation à cet endroit était mauvaise. Il faut donc faire les cônes allongés.

De plus, à la liquidation, lorsqu'une partie des diffuseurs ne fonctionne plus, la pression du bac en charge restant constante, les diffuseurs de queue présentent de plus en plus des irrégularités de circulation à l'angle supérieur. Le liquide, sous cette pression de plus en plus grande, tendait à traverser verticalement la couche de cossettes, sans s'élargir sur toute la section.

Ces observations nous donnent de précieuses indications sur la hauteur que doit avoir le bac à eau au-dessus de la batterie. En effet, nous avons conclu du travail de Szyfer que la vitesse du jus dans les diffuseurs doit être aussi faible que possible, soit de 18 centimètres environ ; que dans ces conditions l'épuisement est parfait. D'autre part, Lizeray nous a montré que la résistance des cossettes et de la batterie repré-

sente un nombre constant H égal à la hauteur du bac à eau, et que le débit augmente quand la résistance de la cossette diminue.

Enfin, Barbet nous montre une batterie dans laquelle la résistance relative de la batterie elle-même, par rapport aux cossettes, est très faible.

De tout cela résulte que la hauteur utile H du bac à eau sur la batterie ne peut être une quantité constante, et qu'elle varie avec la résistance de la cossette; que pour avoir un écoulement constant avec la même batterie, il faudrait faire varier la hauteur du bac en charge en même temps que la résistance de la cossette augmente. Que si l'on a un bac en charge fixe, l'épuisement de la cossette peut être défectueux, lorsque cette cossette est bonne et bien taillée, parce que la résistance diminue et la vitesse du débit augmente.

Il en résulte donc qu'en tous les cas, avec bonne ou une mauvaise cossette, on devrait régler la sortie du jus au mesureur, de manière à ce que ce débit soit le même par seconde, et ce débit doit se calculer d'après le diamètre des diffuseurs, de manière à ce que la vitesse dans les diffuseurs soit constante et égale à 18 centimètres, si c'est ce chiffre que l'on adopte.

Par conséquent, on devra choisir une hauteur du bac telle qu'elle fasse équilibre à la résistance de la cossette dans les plus mauvaises conditions et à celle de la batterie, avec une charge supplémentaire suffisante pour obtenir l'écoulement désiré dans le bac mesureur en conservant une faible vitesse dans les diffuseurs. Mais lorsque les cossettes seront bonnes, on devra régler l'écoulement au mesureur, de manière à conserver la vitesse calculée d'avance.

La solution du problème n'est pas très difficile. Il suffit de mettre sur le tuyau de descente de l'eau du bac à la batterie un robinet détendeur qui ne permette pas que le liquide sorte avec une vitesse plus grande que celle qui est déterminée à l'avance pour avoir un mouvement de jus convenable dans les diffuseurs, quelle que soit la pression du bac à eau, et alors donner au bac une hauteur suffisante pour parer à toutes les éventualités.

Nous avons vu dans des sucreries supprimer le bac à eau et le remplacer par une pompe à régulateur analogue aux pompes à écume. Avec ce système on n'a pas la régularité du bac en charge. Mais avec un robinet détendeur comme celui que nous proposons, la régularité moins grande de la pompe n'aurait plus d'inconvénients, et les fabricants seraient débarrassés du souci de ce bac si élevé qui gèle quelquefois et qui demande en tout cas des constructions et substructions parfois gênantes.

Batterie coupée. — Tourkevitch ayant eu des difficultés de diffusion avec de la mauvaise betterave, le liquide ne passant plus dans l'ensemble de sa batterie, a imaginé de la couper en deux, d'en faire deux batteries de longueur moitié moindre. Chacune de ces batteries peut alors fonctionner, la résistance en étant moitié moindre. Mais comme on tirait alternativement sur l'une ou l'autre, le temps de diffusion était le même par rapport aux 100 kilos de betteraves, mais le jus séjournait deux fois plus de temps dans chaque diffuseur, attendu que dans une batterie unique à chaque emplissage de diffuseur correspond un prélèvement de jus et un meichage, soit deux déplacements de jus, tandis que dans deux batteries provenant d'une batterie coupée pendant qu'on emplit le diffuseur de l'une, l'autre reste stationnaire après meichage, le tirage se faisant sur la batterie dont on emplit le diffuseur. Il y a donc, dans le même temps, deux déplacements de jus dans une batterie unique, et un seul dans chaque batterie lorsqu'on travaille avec batterie coupée.

Or si nous nous reportons au travail de Szyfer que nous venons de mentionner, nous voyons que le travail d'une batterie de diffusion est proportionnel au temps que met le jus à circuler dans le diffuseur et à la hauteur totale de la batterie

$$Q = M d$$

Si donc d , le nombre de diffuseurs est 2 fois plus petit et M le temps de diffusion deux fois plus grand, on a encore

$$Q = 2 M \times \frac{d}{2} = M d$$

Donc une batterie de 14 diffuseurs ou deux batteries de 7 diffuseurs travaillant alternativement doivent donner le même rendement. Mais il faut s'arranger de manière à ce qu'il y ait toujours le même nombre de diffuseurs en travail dans les deux cas.

Les fabricants qui ont opéré la séparation de leur batterie dans les conditions ci-dessus ont toujours obtenu des résultats favorables. Mais comme la conduite de deux batteries pour faire le même travail occasionne toujours plus de surveillance que la direction d'une seule, on ne doit recourir à cet expédient que dans des cas graves comme celui de betteraves mauvaises qui interceptent la circulation dans une batterie longue.

Remarques sur les différents organes des batteries de diffusion. — Un point auquel on ne fait pas attention dans la construction des batteries, c'est la *capacité des calorisateurs*. Il est évident que pendant la macération le jus contenu dans le calorisateur ne travaille pas et reste par

conséquent toujours inférieur en densité à celui du diffuseur auquel il appartient. Il en résulte qu'en déplaçant le jus on envoie sur un diffuseur d'abord celui du calorisateur et ensuite celui du diffuseur, laissant en retard dans le mouvement le liquide qui remplit à nouveau les calorisateurs. Il faut donc éviter les grandes chambres de jus dans les calorisateurs, afin qu'ils n'en contiennent que la quantité strictement correspondante à la tuyauterie.

La tuyauterie elle-même doit être aussi courte que possible pour la même raison, seulement il faut qu'elle soit d'un diamètre suffisant pour que le jus y acquiert une vitesse maximum de 1 mètre par seconde. Sinon, les résistances dans le mouvement du jus sont tellement grandes surtout avec les grandes batteries d'aujourd'hui, que le mechage et le tirage sont beaucoup trop lents. Il ne faut pas oublier que pour faire beaucoup de travail avec des batteries, ces deux opérations doivent se faire le plus rapidement possible, car elles sont un temps précieux perdu pour la macération. De même, les tôles formant le fond des diffuseurs doivent être perforées de trous assez grands, 12 à 14 millimètres, pour que les cossettes ne les bouchent pas. C'est une des causes fréquentes de mauvaise marche des batteries.

La *température* dans les diffuseurs, ou au moins celle du jus, traversant la tuyauterie est constatée au moyen d'un thermomètre sensible installé sur le courant du jus.

On construit à cet effet des thermomètres à mercure capillaires sensibles, en donnant au verre une convexité extérieure qui grossit comme une loupe la colonne mercurielle. Mais malgré cette précaution, ces thermomètres sont peu lisibles. Nous devons cependant une mention spéciale au thermomètre *Hydra* qui est facilement démontable et réglable, et dont la lecture est très lisible. On a employé aussi des thermomètres à cadrans dans lesquels on utilise la tension de la vapeur d'éther agissant sur une membrane. Ces appareils appelés *thalpotasimètres* se dérangent facilement. Après chaque campagne il faut les remettre en état et quelques-uns même sont hors de service.

Richard frères, à Paris, ont construit un thermomètre dérivant des deux précédents et dont on dit beaucoup de bien. Un liquide dilatable est enfermé dans le réservoir métallique d'un thermomètre dont la tige est un tube capillaire métallique également, et d'une longueur pouvant aller jusqu'à 3 mètres. Le déplacement du liquide influe sur un tube Bourdon soudé à l'extrémité du tube capillaire, et qui fait tourner une aiguille devant un cadran.

Pour compenser les changements de température extérieure qui influeraient également sur le système, un second tube Bourdon agissant comme un thermomètre ordinaire retranche ses mouvements de ceux produits par le premier, de sorte que l'on n'a sur l'aiguille que ceux du liquide dilatable en contact avec le jus.

Les *gaz dans les diffuseurs* sont évacués au moyen d'un simple robinet placé à la partie supérieure sur la porte d'emplissage; on a essayé différents systèmes de robinets à ouverture automatique. Mais jusqu'à présent aucun ne semble avoir donné complètement satisfaction.

Ces gaz sont de nature très variable. En général, ils proviennent de l'air contenu dans les cellules, à raison de 13 à 15 litres par 100 kilos de betteraves d'après Lippmann. Quant à celui intercalé entre les cossettes, il doit avoir été chassé au moment du meichage; c'est pourquoi on recommande de faire le meichage avec la porte d'emplissage ouverte.

Pendant la diffusion il se forme différents gaz dont quelques-uns même sont explosibles, et dont on ne sait pas exactement la provenance. On en est encore aux hypothèses.

On pense qu'il se forme, malgré les précautions dont on s'entoure, certaines fermentations dans cette masse de cossettes à la faveur des parties gâtées de la betterave. C'est ainsi que les fermentations acétiques et butyriques, donneraient de l'acide carbonique et de l'oxygène, voire même de l'hydrogène, au dire de Dehérain, sous l'influence de la terre qui salit les racines. On a pensé aussi que le métal du diffuseur pouvait être attaqué lorsque le jus est acide, et donner de l'hydrogène. Tout est possible, mais rien n'a été prouvé.

La *robinetterie* de la diffusion doit remplir plusieurs conditions, être bien étanche, d'abord, ce qui est une condition essentielle pour qu'il n'y ait pas de mélange de liquide, et ensuite pouvoir se manœuvrer très vite. L'étanchéité s'obtient en employant des clapets en caoutchouc plats ou en forme de boulets. Il faut avoir soin de les changer toutes les fois que le besoin s'en fait sentir, ce qui est assez fréquent à cause de la détestable habitude qu'ont les hommes de serrer de toutes leurs forces.

La rapidité se donne en faisant des pas de vis doubles et allongés.

Nous avons vu employer en Autriche un système très commode, qui assure l'étanchéité sans serrage exagéré, la très grande rapidité dans la manœuvre, et qui, de plus, fait voir à grande distance les robinets ouverts ou fermés. Ce système construit par la Maison Breitfeld-Danek, de Prague, est très répandu et très recommandable (fig. 41).

La tige du clapet passe par un presse-étoupe, et se termine par une

lanterne passant dans un piètement de fonte qui fait glissière. Un axe traversant perpendiculairement le piètement passe dans la lanterne, et porte un excentrique en forme de cœur. Un levier à contrepoids est claveté sur l'axe en porte-à-faux en dehors du piètement.

L'excentrique en tournant soulève ou abaisse la lanterne et par conséquent le clapet. Les dimensions sont telles que lorsque le levier est

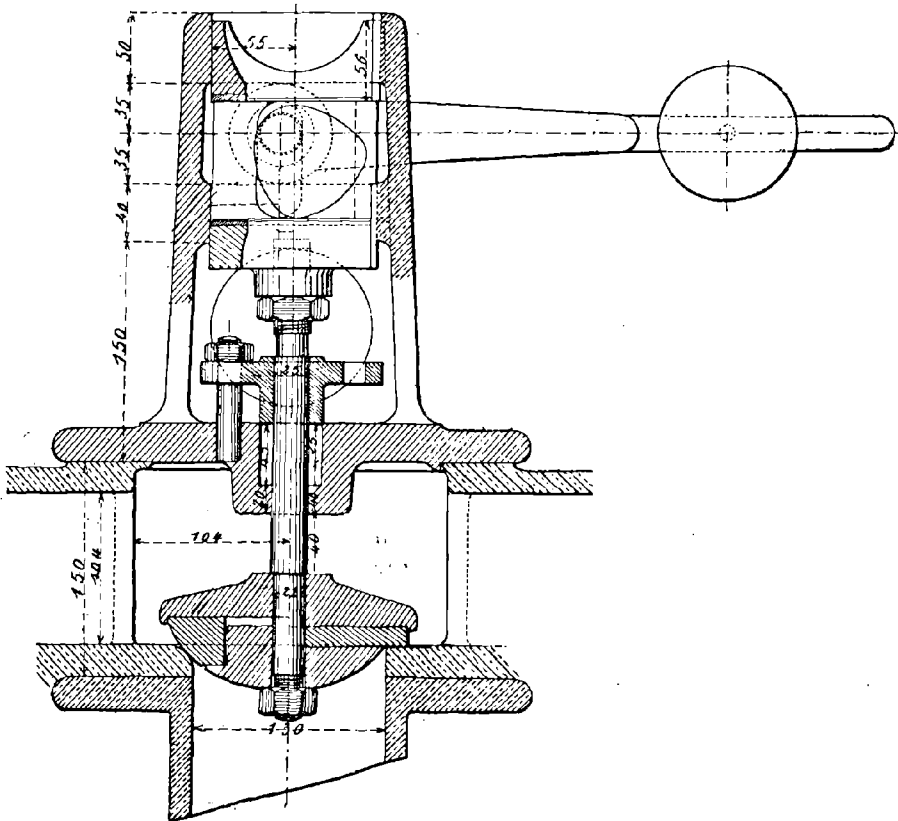


Fig. 41

horizontal le clapet est fermé; quand le levier est vertical le clapet est ouvert. Pour tenir sa station verticale, le calage du levier est un peu en arrière, de manière que, pour obtenir l'ouverture complète du clapet, le levier sort un peu de la verticale en dehors de son centre de gravité.

Il en résulte que le simple mouvement du levier, qui est très rapide, procure l'ouverture et la fermeture du clapet; le contrepoids est suffisant pour que l'étanchéité soit parfaite.

De plus les contrepoids sont des disques plats. On les peint en rouge, en vert, en blanc, suivant qu'ils correspondent aux robinets de jus, d'eau, ou de communication. De telle sorte qu'ils sont comme des signaux qui font voir de loin quels sont ceux qui sont ouverts, ce qui permet aux chefs de batterie de s'assurer de l'ordre parfait de sa robinetterie sans avoir besoin de quitter la place où il se trouve en un moment quelconque du travail.

Des réglages sont ménagés sur toutes les pièces du système pour que la position du levier soit toujours exacte au fur et à mesure de l'écrasement des clapets.

Notre dessin représente les deux formes de clapets en caoutchouc usitées dans la construction autrichienne.

Le *bac à eau* est placé de 8 à 15 mètres au-dessus de la batterie, et reçoit l'eau froide refoulée par une pompe. Comme il est de première économie d'envoyer de l'eau chaude à la diffusion, on fait passer avec avantage l'eau en charge à travers le réchauffeur placé en queue du triple-effet. En donnant une surface suffisante à ce réchauffeur, on peut obtenir la température de 40 ou 50°.

Mais avec les appareils d'évaporation à quadruple et surtout à quintuple-effet, avec chauffages des premiers corps, le réchauffage par la dernière caisse ne donne presque plus rien. D'autre part ces appareils d'évaporation et leurs réchauffeurs fournissent une quantité d'eau de condensation beaucoup plus grande que celle qui est nécessaire aux générateurs et aux filtres-presses.

Nous avons utilisé ces eaux très chaudes à la diffusion de la manière suivante. Nous les faisons arriver dans un grand ballon au moyen d'une pompe. Dans ce même ballon arrive l'eau du bac à eau. Comme la pression de la pompe est toujours supérieure à celle du bac, toute l'eau chaude est absorbée par la diffusion, l'eau froide complémentaire se mélangeant à elle proportionnellement aux besoins.

Il résulte de ce montage deux points principaux. D'abord économie d'eau froide et emploi d'eau chaude à la diffusion. Ensuite l'eau froide en présence de l'eau chaude laisse précipiter son calcaire, et cette précipitation ne se faisant plus dans le diffuseur, le travail n'en est que meilleur.

Mais dans certaines usines on trouve avantage à sortir la cossette froide du diffuseur en vidange, soit pour la qualité de la pulpe, soit pour éviter de brûler les hommes qui travaillent pieds nus dans la fosse.

Dans ce cas, il faut établir deux robinetteries pour l'eau, une pour l'eau chaude que l'on emploie lors du meichage, une pour l'eau froide qui sert au moment où l'on pousse le jus au bac mesureur.

Cette double robinetterie d'ailleurs est nécessaire dans les usines où l'on emploie l'eau des cossettes épuisées pour pousser le jus au bac mesureur, afin d'économiser l'eau du bac. Un *bac à eaux sales* doit être placé dans ce cas à côté du bac à eau propre.

L'*air comprimé* est employé également pour pousser le jus en remplacement d'eau propre ou d'eau sale. On doit dans ce cas pousser un quart du diffuseur à l'eau propre, et employer à ce moment seulement l'air comprimé pour ne pas risquer d'envoyer d'air dans le diffuseur suivant.

Entre la pompe et la batterie se trouve un vaste réservoir muni d'une soupape de sûreté pour éviter les à-coups de la pompe.

Les bacs à eau sont un embarras à cause de la grande hauteur à laquelle ils doivent être placés. Aussi s'en passe-t-on souvent. On les supprime purement et simplement, et l'on fait refouler la pompe à eau dans un réservoir fermé, sorte de grande bouteille d'air qui amortit les chocs de la pompe. Une soupape de sûreté placée sur la conduite d'eau au refoulement de la pompe maintient dans ce réservoir une pression suffisante pour assurer la bonne marche de la batterie.

Ce montage a l'avantage de permettre d'augmenter la pression d'eau lorsque la circulation est mauvaise, et d'être une grande simplification dans l'installation générale de l'usine.

Au sortir des diffuseurs, le jus doit être *filtré énergiquement* car il contient en suspension des cossettes entières ou fragmentées, des matières extractives solides ou gélatineuses de toutes sortes qu'il est indispensable d'enlever pour la bonne marche de la carbonatation.

On se sert généralement pour cet usage de petits filtres à panier dans lesquels s'arrêtent ces matières, et qui peuvent se nettoyer facilement et promptement.

Ces petits filtres (fig. 42), qui n'ont pas plus de 80 centimètres de hauteur, se composent d'un panier A en tôle percée de

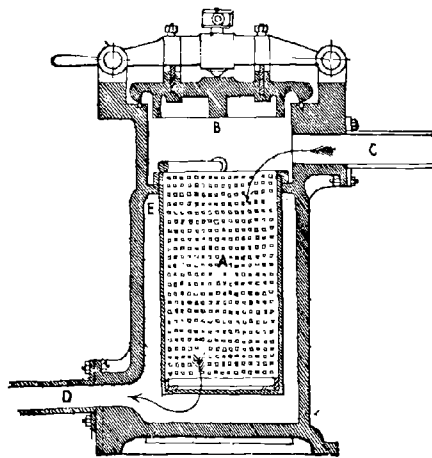


Fig. 42.

trous.

Ce panier est enfermé dans un cylindre en fonte présentant intérieurement un rebord *E*, sur lequel repose un cercle de fer qui renforce la partie supérieure du panier et le maintient ainsi suspendu dans le cylindre. Un couvercle *B* reposant sur siège en caoutchouc est tenu en place par une vis de serrage, ferme hermétiquement le cylindre. Le jus entre par le tuyau *C*, traverse le panier et sort par le tuyau *D*.

Selon nous, cette filtration est encore insuffisante. Il faut là une véritable filtration mécanique. Nous reviendrons sur ce sujet plus loin (voir Filtration mécanique). Nous avons vu employer pour cet usage un appareil très simple composé d'un cylindre dans lequel on introduisait deux tambours concentriques en tôle perforée de gros trous, de diamètre différent et laissant entre eux un espace de 15 à 20 centimètres. On emplissait cet espace de paille de bois (copeaux très fins) suffisamment bourrée. Le jus arrivait dans le milieu, et se filtrait à travers cet appareil rudimentaire, dont l'effet utile était déjà très grand, supérieur au petit filtre ordinaire, mais pas encore entièrement suffisant.

Le *bac mesureur*, dans lequel arrive le jus au sortir de la diffusion, demande une attention spéciale.

Dans certaines usines il n'y en a qu'un, dans d'autres il y en a deux, enfin nous avons vu des sucreries en Russie où il y en a trois et même quatre !

Il n'y a aucune raison qui milite en faveur d'une quantité si grande de bacs mesureurs. Un seul suffit, pourvu qu'il soit bien agencé.

Pour cela il n'y a qu'une seule condition à remplir, c'est que la vidange soit très rapide. Si par exemple on tire un diffuseur toutes les trois minutes, il faut que le bac mesureur se vide en une minute et demie. De la sorte on n'aura aucun embarras, puisque, s'il y a de la place à la carbonatation, le bac sera vidé bien avant que le tirage de la batterie ne le réclame. Et s'il n'y a pas de place à la carbonatation, pourquoi accumuler du jus dans un second bac ? Tout jus qui traîne s'altère, et c'est une règle que nous recommandons aux fabricants d'avoir le moins de bacs d'attente possible dans les usines. Et pour le jus brut c'est encore plus grave que pour les liquides en cours de travail !

Donc si l'on donne au tuyau de vidange du bac mesureur une section double de celui d'arrivée de jus, ou même davantage, en ayant soin que ce bac soit suffisamment en charge sur la carbonatation ou sur le malaxeur de chaux et de jus, un seul bac sera nécessaire.

Cependant il arrive, avec de petits bacs à carbonater, qu'il y ait un

petit avantage, au point de vue de la rapidité du travail, d'avoir deux bacs. Nous pensons qu'il est préférable de n'en avoir qu'un encore dans ce cas, mais avec deux malaxeurs, pour que le jus attende chaulé.

Parfois on met la chaux dans le bac mesureur. Ce serait une bonne chose si le bac mesureur n'était pas le contrôleur du travail de la diffusion. Mais étant donné le peu de temps que le jus doit séjourner dans

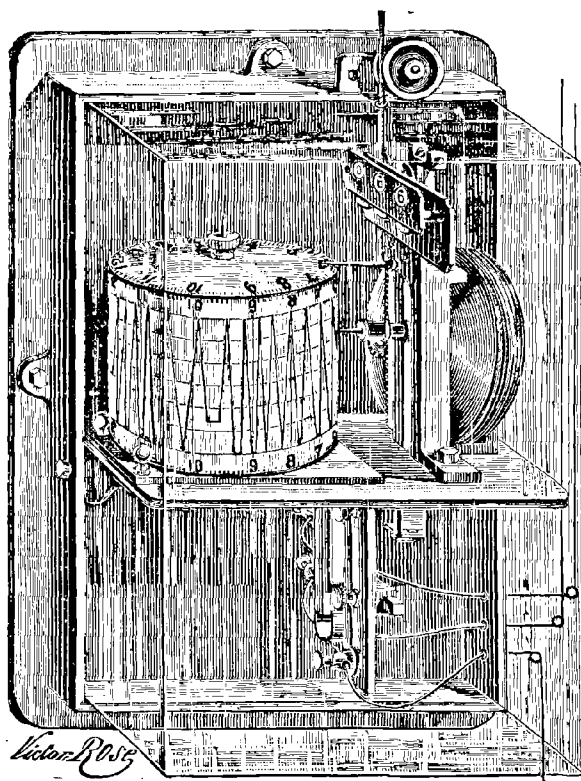


Fig. 43

le bac, il est infiniment préférable de ne pas mettre la chaux au mesureur afin d'exercer un contrôle sérieux sur la diffusion.

Contrôleur-mesureur automatique. — Rasmus, en Allemagne, a institué un système de contrôle automatique sur les jus dans le bac mesureur. Nous avons construit des appareils analogues modifiés suivant les besoins de la sucrerie française et nous allons les décrire.

Le contrôleur-mesureur a été construit de façon à rassembler, dans un espace aussi restreint que possible (fig. 43), des organes *enregistreur*

la marche de la diffusion, *mesurant* son travail et permettant de lui assurer *une régularité parfaite*.

Le contrôle s'opère sur le bac mesureur, où un flotteur, maintenu par un guide transmet son mouvement de va-et-vient à une crémaillère par l'intermédiaire d'une poulie et d'un pignon qui réduit sa course.

Le déplacement de cette crémaillère est par conséquent, absolument identique à celui du jus dans le bac mesureur. Il n'en est qu'une réduction.

Nous allons donc utiliser cette pièce pour établir tout le contrôle. A cet effet elle porte, à peu près en son milieu, un inscripteur, sorte de long stylet placé sur pivot et ayant à son extrémité soit une plume, soit un crayon. En se déplaçant il trace sur une feuille de papier des lignes donnant le diagramme de sa marche.

Cette feuille (fig. 44), est divisée en 12 heures et chacune en 1/4 d'heure et fractions de 5 minutes; elle s'enroule autour d'un tambour renfermant un mouvement d'horlogerie qui lui fait faire une révolution complète en 12 heures. Elle y est maintenue par deux petits ressorts.

La combinaison du mouvement horizontal de cette horloge et du mouvement vertical de l'inscripteur, donne une ligne plus ou moins inclinée suivant que la vitesse de ce dernier sera plus petite ou plus grande. Cette ligne sera horizontale si l'inscripteur s'arrête. On pourra donc, se rapportant aux divisions du bulletin, connaître le temps d'emplissage et de vidange d'un ou plusieurs bacs-mesureurs et, par suite, d'un ou plusieurs diffuseurs, ou bien la durée d'un arrêt.

D'un coup d'œil on peut s'assurer de la régularité du travail; des lignes *trop resserrées* à un endroit indiquent une précipitation dans le travail, tandis que *trop espacées* elles montrent un relâchement aussi

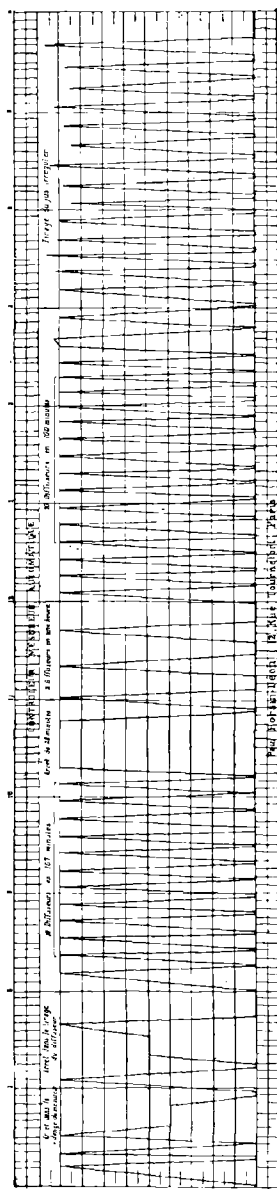


Fig. 44.

mauvais pour le bon épuisement des cossettes que la trop grande vitesse donnée précédemment. Il est à remarquer que toujours l'un suit l'autre. Un autre point très important est d'avoir, sur le tracé, les lignes *toutes de même hauteur*, ce qui assure un soutirage régulier des diffuseurs.

Le bulletin donnant un diagramme absolument régulier assure donc à la diffusion un travail bien conduit; s'il est irrégulier, il donne le moyen d'y remédier et dit ensuite si les ordres donnés ont été exécutés.

Le directeur a donc, avec notre appareil, l'assurance qu'en son absence le travail sera bien fait, en même temps qu'il permet à la surveillance de se porter davantage sur d'autres points aussi importants.

Le changement des feuilles s'opère toutes les 12 heures.

Le haut de la crémaillère porte un petit cliquet qui, à chaque fois qu'un nouveau bac s'emplit, vient faire marcher un compteur à chiffres, totalisant ainsi le nombre de bacs jaugeurs envoyés au travail.

Au bas de la crémaillère se trouve une petite pièce venant appuyer successivement sur deux contacts électriques placés sur une règle parallèle à la crémaillère. Ces deux contacts, placés l'un en haut et l'autre en bas de la règle, correspondent à deux sonneries placées l'une à la diffusion, l'autre à la saturation.

Le contact du haut, que l'on peut élever ou abaisser suivant la quantité de jus que l'on veut extraire, avertit l'ouvrier de la diffusion quand le bac mesureur est près d'être plein et qu'il doit fermer l'arrivée du jus. Celui du bas avertit à la carbonatation que le bac est vide.

Ce système de sonneries a l'avantage de régulariser absolument le travail; l'ouvrier n'ayant plus à se préoccuper du bac, mais à attendre l'appel, on supprime les fautes d'inattention tout en diminuant la fatigue.

Tel est le fonctionnement du contrôleur, il est très simple et le manie-ment en est facile.

Lorsque la corde de la poulie est reliée à celle du flotteur, on règle sa longueur de façon que, le flotteur étant au bas de sa course, l'inscripteur se trouve exactement à la première ligne du bas de la feuille, enroulée sur le tambour.

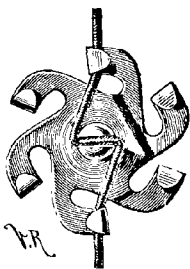


Fig. 45.

Un petit tendeur (fig. 45) permet d'y arriver exactement après avoir mis aussi bien que possible la corde à sa longueur.

Chaque dent du tendeur donne 1/2 millimètre sur la feuille.

Dans le cas où l'on est obligé d'avoir deux bacs

mesureurs il est indispensable d'avoir deux inscriptions, soit deux tambours séparés, mais dont le mouvement soit solidaire. Aussi avons-nous construit des contrôleurs doubles (fig. 46).

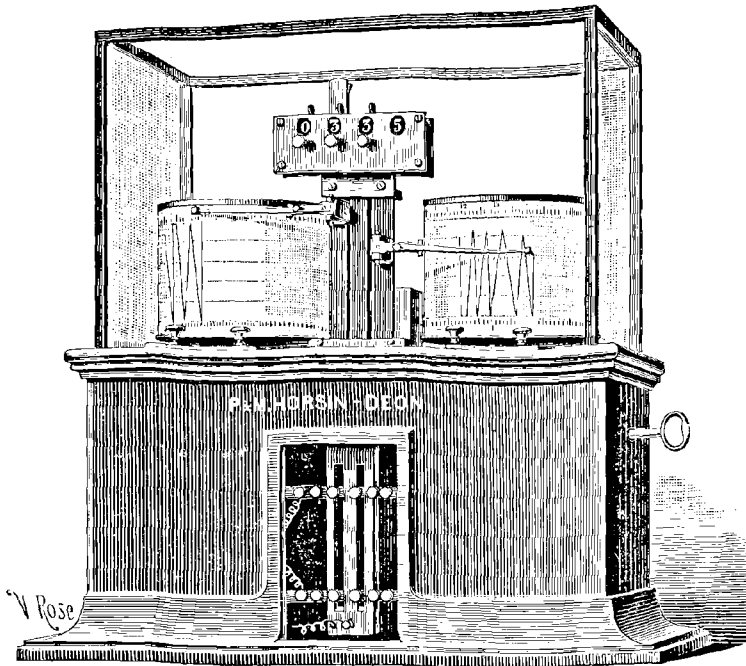


Fig. 46

Comme construction, montage et fonctionnement, cet appareil est entièrement semblable au précédent; ce sont en quelque sorte deux contrôleurs simples juxtaposés. Un mouvement d'horlogerie unique actionne à la fois les deux tambours au moyen de deux vis sans fin.

Échantillonneur. — La prise d'échantillon est un des points les plus importants du contrôle chimique des usines; pour être bien faite, il faut à la fois que l'échantillon obtenu soit proportionnel à la quantité de liquide passant au travail et qu'il en représente une moyenne aussi approchée que possible.

Pour répondre à ces exigences nous avons pris un tube, qui, placé dans le bac mesureur, s'emplit en même temps que lui et donne par conséquent un échantillon dont la *qualité* varie avec celle du liquide entrant dans le bac, et dont la *quantité* ou le volume varie avec la hauteur du liquide dans le bac. Ce tube se vidant automatiquement chaque

fois que le bac est plein, assure une prise régulière de l'échantillon sans qu'aucune erreur puisse se produire.

Il suffit donc, pour l'analyse, de bien mélanger ensemble tous les échantillons recueillis, et d'en prendre ensuite une certaine quantité, pour avoir la moyenne exacte du liquide passé dans le bac mesureur.

L'échantillonneur repose sur l'emploi d'un robinet à trois eaux construit de telle sorte qu'il ne s'ouvre que sous un angle assez faible. Ce robinet met en communication une crépine, servant de base à l'appareil, avec un tube de cuivre vertical, dans lequel s'emmagasine l'échantillon. La troisième eau communique à l'extérieur du bac avec un robinet à raccord, par lequel on recueille le liquide contenu dans le tube; celui-ci est maintenu dans la position verticale par une potence placée à la partie supérieure qui assure en même temps la rigidité de l'appareil.

L'échantillonneur ainsi monté, il reste à faire manœuvrer automatiquement le robinet. Pour cela nous avons deux systèmes:

Dans les usines où le bac mesureur est muni d'un robinet de sortie, il suffit de relier la clé de ce robinet à la clé de celui de l'échantillonneur par un système de levier tel que les deux robinets se manœuvrent ensemble, et que en ouvrant la sortie du bac on ouvre en même temps le robinet à trois eaux sur la sortie de l'échantillon. Ce système très simple peut se monter facilement à l'usine.

L'autre moyen est représenté (fig. 47). Le tube de cuivre est entouré d'un bâti de fer, relié par une articulation au robinet à trois eaux, et sur lequel glisse un flotteur, dont on peut régler la course au moyen d'une butée que l'on fixe à hauteur convenable sur les tiges du bâti.

Supposons cette butée placée de façon que le système étant levé, comme dans la figure 47, elle affleure le liquide dans le bac. Lorsque celui-ci est vide, tout le système se trouve abaissé de telle sorte que la clé du robinet à trois eaux vient presque toucher la crépine. Dans cette

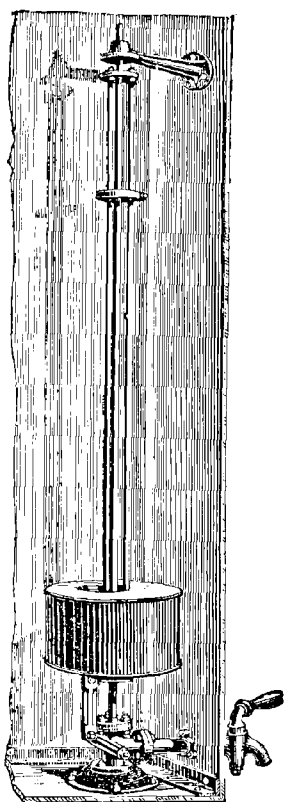


Fig. 47.

position, le tube est en communication avec l'intérieur du bac. Si le liquide arrive, il entre dans la crépine et monte dans le tube en même temps que dans le bac, soulevant peu à peu le flotteur jusqu'à ce que celui-ci s'appuyant sur la butée, le liquide arrive presque à le submerger. A ce moment il se soulève brusquement enlevant avec lui le bâti et faisant tourner le robinet, qui met alors le tube en communication avec l'extérieur et permet à l'échantillon de s'écouler.

Le mouvement ascendant du flotteur est arrêté par la potence contre laquelle viennent buter les têtes des tiges, empêchant ainsi une trop grande ouverture du robinet. L'échantillon s'écoule au dehors par un robinet à raccord qui permet de l'amener à l'endroit où se trouve la bouteille à acétate de plomb dans laquelle on le reçoit.

On reconnaît donc exactement, grâce au contrôleur de la diffusion et à l'échantillonneur, la quantité de jus produite et la qualité de ce jus. On peut donc faire un contrôle sérieux du travail de la batterie, condition indispensable pour un bon travail.

§ 4. — Procédés chimiques employés dans la diffusion

Pour éviter les fermentations qui peuvent se produire dans la batterie et aussi pour y faire une défécation préalable, on a cherché à introduire dans les diffuseurs des *épurants* et des antiseptiques comme l'acide phénique, les sulfites, l'acide sulfureux même. Tous ces procédés ont été abandonnés tour à tour et les sulfites acides (bisulfite de chaux) ont même été considérés comme dangereux, parce que dans ce milieu organique ils font de l'acide sulfurique qui détruit du sucre, ou se combinant avec la chaux font du sulfate qu'on retrouve plus tard dans l'appareil d'évaporation sous forme d'incrustation.

Lorsque les jus sont acides, dans certaines années mauvaises, on s'est trouvé bien d'ajouter un peu de carbonate de soude, voir même un peu de chaux, mais en mauvaise année on fait ce que l'on peut, et l'on ne doit pas considérer ces cas particuliers comme devant être généralisés. Quand la betterave est bonne tout va bien.

Il est donc de bonne économie de rejeter les betteraves altérées quand on en rencontre dans un tas et qu'elles sont peu nombreuses. Mais quand on se trouve en présence de mauvaises betteraves gâtées par les pluies ou la gelée, et que l'analyse indique comme pouvant encore donner économiquement du sucre, il faut s'attendre à maints accidents que l'on pourra pallier en partie par l'action des alcalins.

La *baryte* a été essayée à la sucrerie de Saint-Amand, concurremment avec le carbonate de soude sous le nom de procédé sodo-barytique. On saupoudre de carbonate de soude Solvay les cossettes fraîches à raison de 1 kilo de carbonate réel pour 1.000 kilos de betteraves. Le jus après diffusion est ensuite porté à 83°, additionné de 1^k,170 de baryte cristallisée en lait, puis de 1 kilo de chaux par kilo de sucre, et dans cet état on envoie à la carbonatation. Par ce moyen, le carbonate de soude se trouve saturé, les sels de chaux ne se forment pas, et le reste du travail est amélioré de ce fait.

Ce procédé qui marche bien, dit-on, prouverait que les additions faites à la cossette dans les diffuseurs, réclament un travail ultérieur spécial et la baryte est toute indiquée dans ce cas.

L'eau employée à la diffusion doit être examinée avec soin ; car si elle est chargée de sels, ceux-ci se retrouveront dans le travail. Certaines eaux siliceuses, par exemple, donnent des effets déplorable dans la diffusion d'abord et dans les appareils d'évaporation ensuite. Le degré hydrotimétrique de l'eau de diffusion ne doit pas dépasser 30°. Elle ne doit pas contenir de sulfate de chaux, ni de chlorure, ni de silice en quantité trop grande par rapport au bicarbonate de chaux, car une eau contenant le même résidu sec est meilleure quand ce résidu est calcaire que lorsqu'il est composé de sels autres que le carbonate toujours facile à éliminer.

On a même parfois avantage à épurer les eaux calcaires ayant un degré hydrotimétrique élevé et qui deviennent excellentes, tandis que certaines eaux de puits moins chargées ne valent rien du tout pour le travail.

La question de l'eau est donc de premier ordre.

Rentrées des petites eaux dans la batterie de diffusion. — On a souvent eu l'idée de faire rentrer dans la batterie de diffusion des liquides sucrés légers obtenus en cours de travail et dont on ne voulait pas évaporer la grande quantité d'eau qu'ils contiennent de concert avec celle du jus normal. On a pensé aussi que la betterave en cossette peut agir soit comme épurant par endosmose, soit comme matière filtrante, soit même comme agent de fixation des alcalis. C'est ainsi que Manoury voulait traiter les égouts de turbinage, pour les faire rentrer dans le travail épuré par la cossette même.

Mariolle-Pinguet a imaginé un système qui fonctionne très bien. Il consiste à faire rentrer les eaux de lavage des filtres-presses dans le dif-

fuseur correspondant à la densité de ces liquides, soit dans le quatrième en travail dans la batterie.

Les petites eaux de filtre-pressé doivent être au préalable carbonatées à fond dans des chaudières disposées à cet effet, puis introduites dans le diffuseur en quantité convenable exactement mesurée pour que la diffusion reste correcte.

Il en résulte comme avantages que la carbonatation et l'appareil d'évaporation sont soulagés d'autant, augmentation de ce fait du travail que ces appareils peuvent produire, c'est-à-dire augmentation du poids de betterave mis en œuvre dans l'usine; épauement plus complet

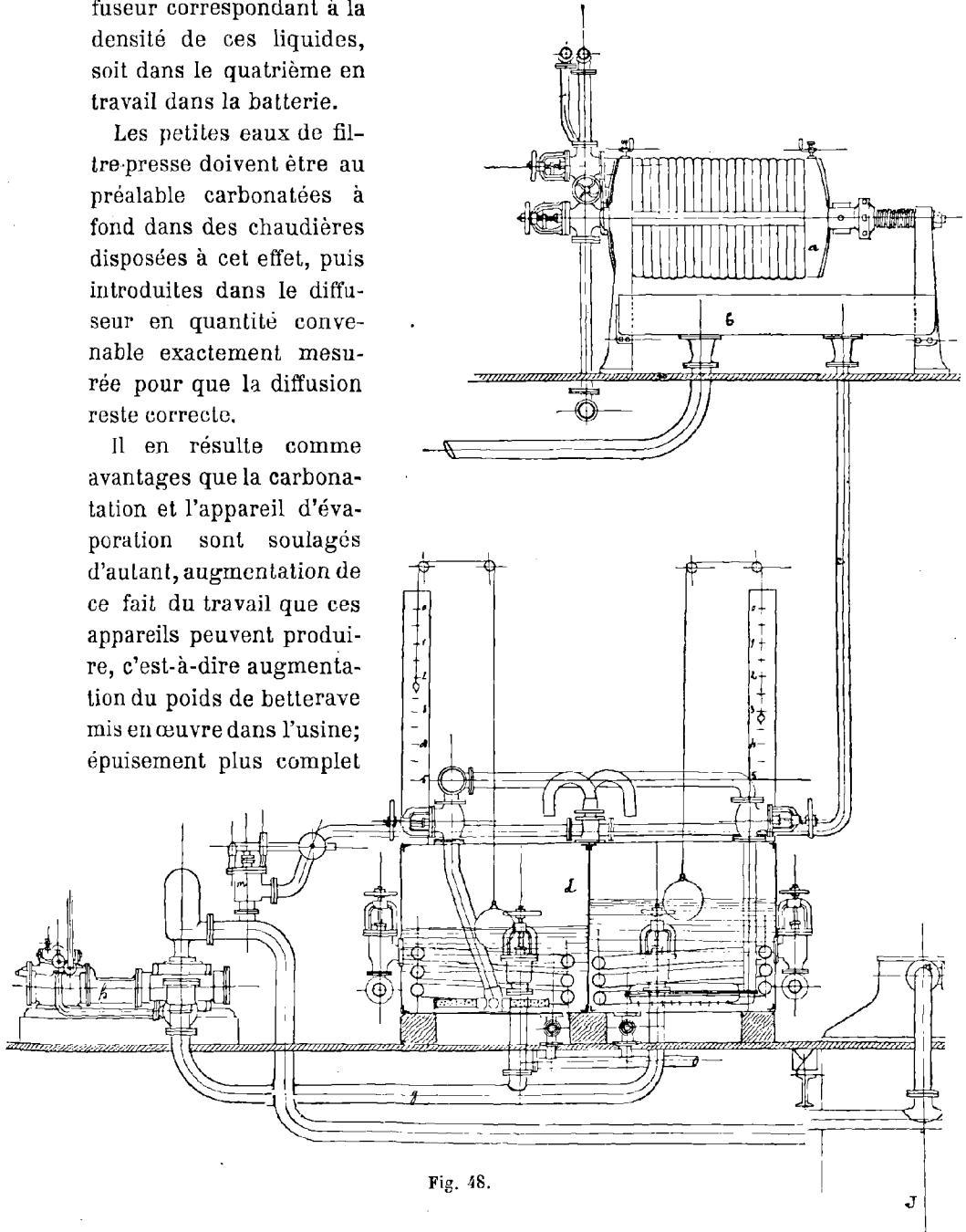


Fig. 48.

des écumes, puisque l'on ne craindra pas de faire sortir l'eau de lavage à un degré trop faible non rémunérateur eu égard au poids de charbon représenté par son évaporation ; enfin, économie d'eau à la diffusion s'élevant environ à 6 ou 8 %, si l'on épuise fortement les écumes. Il n'est pas à craindre que cette rentrée ait une influence sur l'épuisement du diffuseur de queue qui recevra autant d'eau que de coutume, car on tirera un peu plus du diffuseur de tête et l'on aura néanmoins des jus de même densité à cause du sucre que les petites eaux font rentrer. D'ailleurs, dans les sucreries où ce système a été bien appliqué, on ne s'est aperçu d'aucun désordre dans le travail. Le procédé de Mariolle-Pinguet est donc des plus recommandables.

La figure 48 ci-contre, représente l'ensemble du système. *a* est la batterie de filtres-presses dont les eaux de lavage sont mesurées dans la nochère *b*, et s'écoulent par le tuyau *c* dans deux bacs mesureurs *d* où se fait la carbonatation de la chaux qui reste en excès dans ces liquides. Des serpentins de chauffage permettent de porter ces jus à la température convenable. Une petite pompe *h* reprend le liquide alternativement dans chacun des bacs mesureurs par le tuyau *g*, et le refoule dans la batterie de diffusion dont on voit un des vases à la droite du dessin. Des flotteurs agissant sur un index qui se déplace le long d'une échelle graduée, permettent de n'envoyer dans chaque diffuseur que la quantité voulue d'eaux de lavage des filtres-presses. Une soupape de sûreté *m* placée au refoulement de la pompe renvoie dans les bacs, au moyen de cols de cygne, le liquide au moment de la fermeture des robinets sur la diffusion.

Le montage est simple et facile à exécuter, ce qui assure une fois de plus le succès de ce système.

§ 5. — Presses à cossettes

(Fig. 49 et 50)

Les cossettes épuisées sont très aqueuses ; on doit, pour les rendre propres à la nourriture du bétail, leur faire perdre la plus grande partie de leur humidité. A cet effet, on les conduit, au sortir des diffuseurs, dans des presses spéciales dont les premières furent celles de *Kluzemann*. Elles se composent essentiellement d'un cylindre en tôle perforée *AA*, dans l'axe duquel tourne lentement, au moyen d'une transmission à engrenage, un cône en fonte *BB* muni de palettes *CC* inclinées disposées en hélice. La cossette tombe à la partie supérieure, dans l'espace vide laissé entre le cylindre et le cône, est entraînée par les palettes à la

partie inférieure de l'appareil qui devient de moins en moins large, et sort par un espace annulaire fort rétréci et dont on règle l'ouverture au moyen d'une pièce D que l'on monte et descend avec des boulons de serrage. L'eau qui traverse le long de la tôle perforée s'écoule par deux tuyaux EE munis de regards qui se rejoignent au-dessous de l'appareil et supportent l'appareil de réglage de la sortie. Le tout est enveloppé d'une chemise en tôle légère F.

En sortant des presses Kluzemann, les cossettes sont suffisamment ressuyées pour suffire aux besoins des étales. Mais on a cherché à faire mieux.

Les presses Bergreen qui vinrent ensuite eurent un meilleur pressage et un rendement plus élevé. Le cône central fut fait en deux pièces animées de vitesses différentes et de sens contraire. La partie du haut

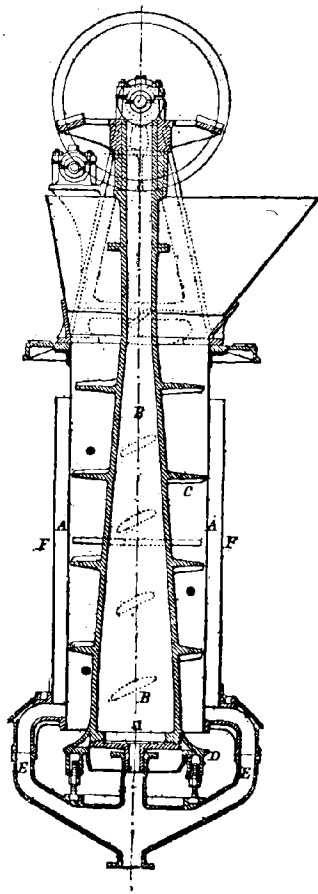


Fig. 49.

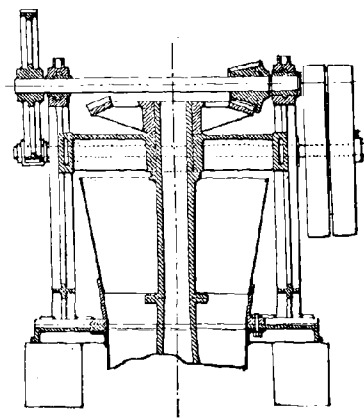


Fig. 50.

porte les ailettes, tandis que celle du bas porte une spirale qui force la cossette à descendre plus régulièrement et mieux pressée jusqu'à l'espace annulaire du bas. Enfin, le cône est lui-même recouvert de tôle perforée comme l'enveloppe extérieure.

D'ailleurs comme les presses Bergreen étaient construites absolument sur le même principe que les précédentes, on améliora les presses Kluzemann dans le même sens.

Les presses *Kluzemann perfectionnées* ne diffèrent pas à première vue des presses *Bergreen*, ayant en tête deux engrenages qui marchent à vitesses différentes et commandent les deux tronçons du cône qui est en deux portions, celle du bas portant également une hélice.

La cossette, en sortant des presses, contient environ 90 % d'eau, 85 au minimum.

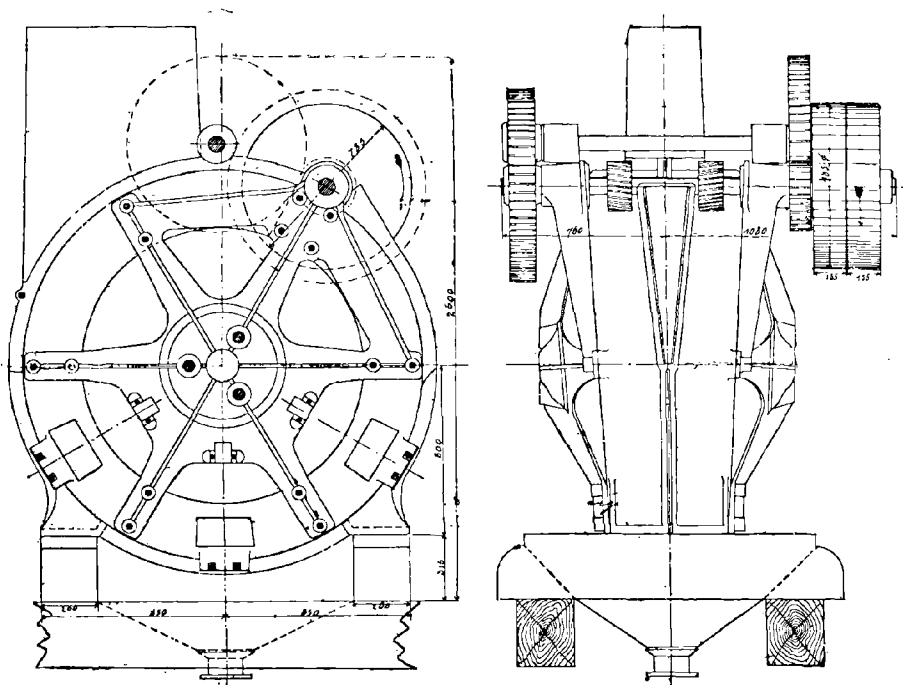


Fig. 51

La presse *Selwig et Lange* (fig. 51) est assez répandue en Autriche et en Russie. Elle se compose de deux grands disques perforés tournant tous deux verticalement avec la même vitesse, lente, d'ailleurs ; seulement leurs axes, au lieu d'être dans le prolongement l'un de l'autre, forment un angle très obtus avec le plan vertical qui passe entre les deux, de telle sorte que les deux disques se touchent presque sur l'un de leurs bords, tandis qu'ils sont assez éloignés sur l'autre dans le prolongement du diamètre de contact. Le tout est renfermé dans un fort bâti de fonte.

On conçoit que si la cossette se trouve à tomber entre les disques dans la partie large, elle est entraînée par le mouvement de rotation, pressée contre les parois perforées qui se rapprochent de plus en plus, et que, si une armature quelconque la recueille à la sortie de l'espace le plus étroit, elle puisse être rejetée en dehors sur un entraîneur qui l'éloigne de l'appareil. Tel est le principe de cette presse.

Les deux disques sont fous sur leurs axes, et sont entraînés par un double engrenage et des pignons agissant sur leur couronne qui est dentée. La stabilité des disques pendant le serrage est obtenue par six galets contre lesquels s'appuient ces disques dans la partie où ils sont le plus rapprochés l'un de l'autre. Cette presse ne donne pas des cossettes aussi sèches que les précédentes.

La presse, figure 51, est de la construction Breitfeld-Danek.

Dessiccation des cossettes. — Les cossettes de diffusion contenant environ 90 % d'eau ne peuvent être conservées que dans des silos. On les recouvre de terre, et là elles fermentent. Le peu de sucre qu'elles renferment se transforme en alcool, puis viennent les fermentations lactique et butyrique qui donnent aux silos une odeur désagréable. La cossette laisse couler pendant ce temps une partie de son eau qui entraîne avec elle beaucoup de matières nutritives altérées par les ferments.

C'est ce qui reste de tout ce travail interne qui est donné aux bestiaux. Ceux-ci en sont très friands parce que la saveur en est aigrelette et que la masse n'a plus que la consistance d'une bouillie. Mélangée avec de la paille hachée, cette cossette est un très bon aliment.

Mais ces fermentations et ces déperditions d'eau privent les cossettes d'une partie de la substance alimentaire. La perte est d'environ 30 %.

Aussi a-t-on cherché à les rendre indécomposables par la dessiccation. On a reconnu qu'en ne laissant que 10 % d'eau dans la cossette elle se conservait fort bien.

Sur 100 kilogrammes de cossettes si l'on veut évaporer 80 kilogrammes d'eau il faudra dépenser environ 52.300 calories pour les chauffer à 100° et évaporer l'eau ensuite.

Si l'on brûle du charbon pour produire ce travail, et si l'on utilise 4.000 calories de ce charbon dans un four, soit la moitié des calories développées, il faudra en brûler 13*,075 pour obtenir ce résultat.

Si le charbon vaut 23 francs les 1.000 kilogrammes, la dépense sera de 30 centimes par 100 kilogrammes de cossettes.

Si enfin la cossette fraîche vaut 5 francs les 1.000 kilogrammes les 30 % perdus dans les silos, soit 300 kilogrammes valent 1 fr. 50.

Par conséquent, on dépensera 30 centimes de charbon pour conserver 1 fr. 50 de cossettes. L'opération en vaut donc la peine, même en tenant compte de l'amortissement du capital du four et de la main-d'œuvre qui représentent à peu près la valeur du charbon, soit 0 fr. 60 dépensé pour gagner 1 fr. 50. Reste à savoir si la pulpe sèche se vendra au prix de la cossette fraîche correspondante. 1.000 kilogrammes de cossette fraîche valant 5 francs, 200 kilogrammes de cossette sèche doivent valoir également 5 francs pour que le procédé donne des bénéfices, soit 25 francs les 1.000 kilogrammes. Présenté ainsi le problème se résoud par l'affirmative.

On peut encore dire que 1.000 kilogrammes de cossette fraîche donnent 200 kilogrammes de cossette sèche, ces 200 kilogrammes ont la valeur suivante :

Charbon.	3 fr.
Amortissement	3 »
1.000* de pulpe fraîche	5 »
Total	<u>11 fr.</u>

Donc 1.000 kilogrammes de pulpe sèche valent au moins 55 francs. C'est plus vrai, mais ce raisonnement ne tient pas compte de la perte en silos.

Or nous voyons en Allemagne payer la cossette desséchée de 75 francs jusqu'à 100 francs. Il y a donc dans ce cas un bon bénéfice pour le fabricant. Voyons s'il y a aussi bénéfice pour l'engraisser.

La pulpe des silos a perdu le tiers de sa matière nutritive, ce qui reste est la cellulose et les deux tiers des substances que l'on voudrait donner aux bestiaux pour les engraisser.

1.000 kilogrammes de cossette fraîche valant 5 francs, contiennent :

820 kil. d'eau.
144 » cellulose et hydrocarbures non nutritif.
36 » mat. azotées, sels, sucre, aliments assimilables.
<u>1.000 kil.</u>

Donc 36 kilogrammes de matières nutritives valent 5 francs.

Dans les silos on perd le tiers de ces matières, ce qui fait que 24 kilogrammes de matières nutritives de cossettes après ensilage valent 5 francs ou 0 fr. 208 le kilogramme.

Dans les cossettes desséchées que vaut la matière nutritive ? Comme 200 kilogrammes de ces cossettes proviennent des 1.000 kilogrammes précédents, ils contiennent 36 kilogrammes de matières nutritives. Si on lui donne la même valeur de 0 fr. 208, 200 kilogrammes de cossettes desséchées valent :

$$36 \times 0,208 = 7 \text{ fr. } 488$$

Donc 1.000 kilogrammes de cossettes desséchées valent 37 fr. 440 sur place.

Remarquons cependant que nous avons évalué à 5 francs la cossette fraîche d'usine. Ce prix est aussi bas parce que les voisins de la sucrerie seule peuvent la faire consommer à leurs bestiaux et que la demande est dès lors très faible. A certains moments la cossette vaut 10 francs, et si l'on pouvait l'expédier en sacs ou en tonneaux à toutes distances, son prix augmenterait encore.

Le prix de 75 francs pour la cossette desséchée n'est donc pas trop élevé pour les engraisseurs éloignés des centres sucriers, et même il n'est pas étonnant qu'il s'élève à 100 francs, si les résultats donnés par cette nourriture étaient connus de la culture en général.

Le seul système employé jusqu'à ce jour pour la dessiccation des cossettes est celui de Buttner et Meyer. Il en existe d'autres, comme celui de Mackensen qui rappelle par sa forme et son principe les cylindres de séchage des sucres, mais ces appareils n'ayant pas encore été sanctionnés par la pratique, nous n'en parlerons pas quelque ingénieux qu'ils soient.

L'appareil employé par Buttner et Meyer est un four à trois étages, chaque chambre du four mesurant 5 mètres de longueur sur 2^m,20 de largeur et 1^m,50 de hauteur.

Dans l'axe de ces chambres, dont la sole a la forme d'une auge double, tournent deux agitateurs parallèles ayant une vitesse de 20 tours par minute, et relevant continuellement la cossette. La cossette sortant des presses entre dans la chambre supérieure et descend d'étage en étage jusqu'à la chambre du bas d'où elle est extraite parfaitement desséchée par une hélice.

Un foyer à coke placé en avant et à la partie inférieure de l'appareil, dégage ses gaz chauds dans la chambre du bas et ces gaz remontent d'étage en étage jusqu'en haut, où ils s'échappent chargés d'humidité entraînés par un ventilateur et réglés par un registre.

On règle la température au moyen de pyromètres.

D'après les inventeurs chaque kilogramme de charbon brûlé évapore 10 à 11 kilogrammes d'eau.

L'appareil, pour traiter 100.000 kilogrammes de cossette humide revient, y compris la prime de brevet à 60.000 francs, et deux hommes suffisent pour le conduire. Comme il faut encore deux hommes pour la nuit, c'est 4 hommes que l'on doit compter pour le service de l'appareil.

Le prix de revient s'établit donc ainsi pour 1.000 kilogrammes de cossette :

800 kil. d'eau à évaporer demandent 80 kil. de charbon à 23 fr. =	1,84
4 hommes.	0,16
Amortissement à 15 % de 52.000 francs en 100 jours	0,78
Graissage et divers	0,15
Total	<u>2,93</u>

Ces chiffres portent à 30 centimes tous les frais de dessiccation de 100 kilogrammes de cossette humide, moitié moindre que notre évaluation primitive, dans laquelle nous supposons une évaporation moitié moindre par kilogramme de charbon. Par conséquent, en y ajoutant le prix de la pulpe humide à 3 francs, cela donne 8 francs pour 200 kilogrammes de pulpe sèche ou 40 francs les 1.000 kilogrammes, nombres plus rapprochés des 37 fr. 440 valeur réelle.

Mais il est préférable d'accepter le chiffre fort, les précédents étant ceux fournis par l'inventeur et ne tenant pas compte de tous les imprévus d'une fabrication.

6. — Composition comparée des résidus des différents modes d'extraction du jus.

On a fait beaucoup d'analyses de résidus d'extraction du jus des betteraves; toutes ces analyses ont eu pour but la comparaison des différents procédés, afin de s'assurer de la supériorité des uns sur les autres. Malheureusement, la composition de ces résidus étant aussi variable que celles des betteraves qui en proviennent, un tableau contenant toutes ces analyses, ne peut rien apprendre s'il n'a été fait sur place avec les mêmes racines, dans les mêmes conditions et sur tous les procédés différents d'extraction. Un tel travail est impossible industriellement. Cependant ces analyses ont été faites dans des usines ayant à la fois des presses continues et des presses hydrauliques, des presses et des diffuseurs, mais bien rarement trois procédés différents d'extraction. On devra donc faire comparaison entre deux procédés dans une même usine, et se reporter au travail d'une autre usine possédant un procédé commun à la première, et un second différant des deux autres, et l'on pourra comparer les deux derniers au moyen du premier, qui est commun. C'est ainsi que Robert, à Sélowitz, a pu établir entre son procédé de diffusion et les presses un parallèle sérieux. C'est ainsi que les presses continues se sont comparées aux presses hydrauliques; nous pourrions donc comparer les presses

continues à la diffusion. Nous trouvons dans le *Traité de la diffusion* de Robert, le tableau suivant que nous donnons malgré sa date ancienne.

Résidus provenant des différentes méthodes d'extraction du jus. (Pulpes et Cossettes).

	MACERATION				PRESSION simple	DIFFUSION	
	Méthode Walkolf		Schutzenbach				
Eau	76.03	76.03	76.03	76.03	76.03	76.03	76.03
Sucre	0.45	0.29	1.13	2.29	4.39	0.26	0.52
Matière azotée	1.47	1.62	1.42	1.50	1.49	2.82	2.47
Matière non azotée	13.81	14.96	15.20	14.46	12.51	13.64	13.77
Sels	1.19	1.21	1.13	1.29	1.55	1.52	1.46
Sable et argile	1.04	1.14	0.15	0.96	0.95	0.50	2.25
Fibre et ligneux	6.01	4.75	4.94	3.47	3.08	5.23	3.50
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Toutes les pulpes et cossettes ont été ramenées au même degré moyen d'humidité, pour comparer leur teneur en éléments utiles. Ainsi, la pulpe de presses ne doit contenir que 60 ou 70 % d'eau, les cossettes de diffusion, 92 à 95 %.

Ce tableau établit le rapport qui existe entre tous les procédés de macération et de diffusion, et celui des presses. Quoique n'ayant pas été fait sur les mêmes betteraves, il a été établi par rapprochement de racines analogues. Cependant il n'est pas complètement vrai en tout, comme nous allons le voir.

Nous remarquerons d'abord la quantité de sucre contenue dans tous ces résidus. Le point capital, sous ce rapport, est la grande différence que présente la pression simple avec les autres procédés; en effet, la pression simple est sans contredit la méthode par laquelle on perd le plus de sucre, et si elle est restée si longtemps en faveur en France, c'est que dans notre pays, où le sucre est fortement imposé, on avait avant la nouvelle loi plus de bénéfice réel à en perdre dans les résidus, mais à travailler vite, qu'à l'extraire péniblement et à un prix élevé. Ce prix, au contraire, était rémunérateur en Allemagne, où l'on imposait la racine, quelle que soit la quantité de sucre qu'on en retire, et en Russie, où l'on payait un abonnement de fabrication, selon la quantité et la nature des appareils extracteurs que l'on emploie. D'ailleurs, c'est le mode d'impôt employé par les Allemands, qui donne le meilleur résultat pour la fabrication à laquelle il donne entière liberté, et que depuis 1884 on a adopté en France.

Après la pression simple, vient la méthode Schutzenbach; et enfin la méthode Walkhoff et la diffusion donnent des pulpes et cossettes aussi

pauvres en sucre l'une que l'autre. Cependant, nous devons ici faire une observation. En effet il faut faire attention que la diffusion donne 90 % de ces cossettes, tandis que les autres procédés donnent en moyenne 20 % de pulpe, en sorte qu'en ramenant par dessiccation les cossettes à ce même volume, nous les trouvons retenir 1 % de sucre et parfois plus. Les nombres de Robert sont donc trop faibles de beaucoup. De plus, il est un résidu dans la diffusion qui n'existe pas dans les autres modes de traitement, c'est la dernière eau de lavage qui contient encore du sucre, ce qui occasionne une perte à ajouter à celle provenant des cossettes. Si donc on calcule 95 % de cossettes humides contenant 0,30 % de sucre, et 30 % d'eau d'évacuation contenant 0,30 de sucre, quoique ce ne soit pas toujours vrai, total 125 % de matière sucrée résiduelle, ces 125 % réduits au volume de 20 %, contiendront alors 1,87 % de sucre, à peu près comme le procédé Schutzenbach.

Sous le rapport des matières azotées, albumine et autres, c'est la diffusion qui donne les résidus les plus riches en ces principes, c'est-à-dire que c'est la diffusion qui en laisse échapper le moins dans les jus, en fin de compte qui donne les jus les plus purs et les plus faciles à travailler. Nous avons déjà dit, en effet, que le jus de diffusion contenait 1 de matière azotée, tandis que le jus de presse en contiendrait 1,67. D'un autre côté, les résidus des deux procédés auraient comme composition comparée les nombres suivants :

En supposant que le travail des presses fournisse 18 % de résidu, et la diffusion 75 à 70 0/0, on a pour 100 parties de racine :

	Presses.	Diffusion.	
		à 75 0/0	à 70 0/0
Matière sèche.	6,393 0/0	6,907 0/0	6,786 0/0
Sels minéraux	0,720	0,592	0,500
Azote	0,068	0,090	0,080

ce qui veut dire que tout l'azote qui est en moins dans les jus de diffusion est en plus dans les cossettes du même travail.

Les autres procédés se valent à ce point de vue.

Parmi les matières non azotées, se classent les matières pectiques et les gommes, qu'un bon procédé doit conserver dans le résidu et non abandonner dans les jus. Ici le tableau n'est pas concordant avec lui-même. Le procédé Walkhoff ne peut pas donner des pulpes plus riches en ces matières que les presses, dont il dérive. De plus, il est parfaitement reconnu que le procédé Schutzenbach en abandonne dans le jus plus que la diffusion. Nous ne pouvons donc pas nous rapporter au tableau, pour les matières non azotées, qui doivent être plus nombreuses

dans les résidus de diffusion, moindres dans les presses, encore moindres dans le procédé Walkhoff, et enfin encore en moins grande quantité dans les résidus des procédés Schutzenbach.

Quant aux sels, le tableau nous enseigne parfaitement bien que les presses et la diffusion conservent plus de sels dans les pulpes que les procédés de macération. Quant au reste du tableau, c'est une question de racines différentes.

Enfin vient la comparaison comme valeur pécuniaire de ces résidus. Deux causes entrent en ligne de compte pour faire varier cette valeur : le sucre et l'azote. L'acheteur qui voudrait exploiter ces résidus comme sucre et ensuite comme engrais, pourrait calculer, en effet, cette valeur ; mais, en réalité, le sucre que contiennent les résidus est perdu pour tout le monde, car si on les fait consommer aux animaux, c'est presque toujours après fermentation en silos, et dès lors, destruction du sucre dont ne profiteront même pas les bestiaux. L'azote, au contraire, a une très grande valeur. Les résidus contiennent de 15 à 18 d'azote pour 100 de matières azotées. Il sera donc facile de calculer la valeur réelle des résidus, qui sera d'ailleurs, ici, proportionnelle à leur teneur en matière azotée.

Pour montrer qu'elle valeur nutritive ont ces résidus, voici une comparaison établie par Wolff, entre les équivalents nutritifs pour les bestiaux, des différentes matières alimentaires.

Pulpes de sucrerie.	11,2
Sainfoin.	6,2
Trèfle	7,4
Luzerne.	7,8
Drèche	41,6
Son de blé.	41,9
Son de seigle	43,9
Tourteau de seigle.	48,1
Tourteau de lin	56,5

La pulpe est donc une substance alimentaire de valeur.

D'ailleurs, la composition des pulpes est fort variable.

Voici, d'après Corenwinder, une analyse de pulpe fraîchement pressée (20 % du poids de la betterave).

Eau.	71,420	
Sucre	3,620	
Matières grasses	0,628	
Cellulose	10,345	
Substance azotée	2,381	Azote = 0,381
Pectose, mat. incrust.	9,434	
Matières minérales	2,172	
	<hr/>	
	100,000	

Comparée à celle de Robert et à une autre du D^r Grouven, nous trouvons :

Eau	71,420	76,03	75,40
Sucre	3,620	4,39	3,20
Matière non azotée	20,407	15,59	17,33
Matière azotée	2,381	1,49	1,53
Matière minérale	2,172	2,50	2,54
	<u>100,000</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

Ces analyses prouvent que si les différents éléments de la betterave, et par conséquent de la pulpe, sont variables, ils restent cependant dans certaines limites qui les rendent comparables entre eux. Le sucre seul peut varier.

Voyons maintenant les presses continues. D'après des renseignements authentiques, elles laissent le tiers de sucre en moins que les pulpes de presse ordinaire, parce que l'on faisait partout la double pression. Mais ces pulpes sont un peu plus humides, ce qui les porte au rapport de 11 de résidus de presse ordinaire, pour 13 de presse continue. La quantité réelle de sucre contenue dans les pulpes de presse continue, doit donc être ramenée de 13 à 11, pour la comparer à celle des presses, puisque, en réalité, 11 de jus y sont étendus à 13 volumes. Ces résidus sont vendus comme ceux des presses, déduction faite de l'eau qu'ils contiennent en plus ; ils ont donc une moindre valeur à poids égal, mais ils trouvent acheteurs tels quels, et non comme ceux de diffusion, qui doivent être repressés. Ces résidus contiennent en moyenne 4 % de sucre, souvent plus, tandis que la diffusion n'en perd au maximum que 2 (résidu pressé) ; c'est donc une très grande infériorité sous ce rapport, rachetée par d'autres qualités, mais que l'on arrivait à faire disparaître en partie dans les pays où il y avait profit, par une plus grande addition d'eau à la râpe et à la double pression. En effet, en France, on n'ajoutait guère que 10 % d'eau à la râpe, ce qui diluait peu le jus et laissait dans les pulpes du jus fort riche. Ces pulpes étaient ensuite délayées dans leur poids d'eau. En faisant usage d'une plus grande quantité d'eau à la râpe et au délayage, dans des limites calculées d'ailleurs, en employant aussi l'eau chaude, on arrivait à amoindrir considérablement cette teneur en sucre.

§ 7. — Composition comparée des jus, suivant les différents modes d'extraction.

Nous avons vu la manière d'extraire le jus de la betterave, la qualité des résidus de ces opérations. Nous avons constaté que plus la pulpe

ou cossette est riche en matière minérale et azotée, plus le jus est pur ; donc, suivant les procédés d'extraction, on aura des jus plus ou moins faciles à travailler. En effet, la diffusion permet d'employer un mode de traitement fort simple et économique, avantage que ne donnent pas les râpes.

Le procédé que l'on emploie vulgairement pour constater le degré de pureté du jus de betterave ou de tout autre liquide sucré de fabrication, consiste à prendre la densité du liquide, voir sur les tables à quelle quantité de sucre correspondrait cette densité si le jus ne contenait que du sucre et de l'eau, doser le sucre contenu dans le jus au moyen du saccharimètre, retrancher ce nombre de celui indiqué précédemment par la table, et la différence donne ce que l'on appelle très improprement le *non-sucre* du jus, qui est d'autant plus fort que le jus est moins pur. Ainsi, voici quelques analyses de betteraves :

Densité du jus 1,079 correspondant à 19,42 de sucre dans la table de Brix.	
Le saccharimètre indique.	18,50 de sucre.
	<hr/>
Différence ou non sucre	0,92

Un autre donnait :

D = 1,071, soit	17,58 de sucre (table de Brix).
Saccharimètre	16,00
	<hr/>
Non sucre	1,58

Tandis qu'une betterave très mauvaise, grosse et sortant à moitié de terre donnait :

D = 1,040 soit	10,00 de sucre (Brix).
Saccharimètre	6,45
	<hr/>
Non sucre	3,55

La partie sortie de terre, analysée à part, donnait :

D = 1,037, soit	9,40 de sucre (Brix).
Saccharimètre	4,50
	<hr/>
Non sucre	4,90

On voit donc croître la quantité du non-sucre avec la mauvaise qualité de la betterave.

La même chose aura lieu pour les jus de presse et ceux de diffusion. Ainsi, voici trois jus de pression sans addition d'eau, pris au hasard, dans de nombreuses analyses, et, à côté, le jus obtenu par diffusion avec ces mêmes racines, en cours de travail ordinaire :

JUS DE PRESSE			JUS DE DIFFUSION		
Sucre	Non sucre	Rapport	Sucre	Non sucre	Rapport
13.03	3.20	4.06	8.63	1.62	5.00
11.51	2.49	4.70	9.17	1.58	5.80
9.00	3.52	2.50	8.80	1.70	5.17

Le rapport du sucre au non-sucre, que l'on a appelé autrefois coefficient apparent de pureté, est plus élevé dans les jus de diffusion que dans ceux de presse, c'est-à-dire que la diffusion donne des jus constamment plus purs que la pression. On a donc là un moyen commode de juger la qualité relative d'un liquide sucré avec ce coefficient, c'est ainsi qu'un jus, ayant un coefficient de 2, n'est plus bon pour le travail. Or, on a remarqué un fait qui joue un grand rôle dans les essais de laboratoire d'usine.

Lorsque l'on veut connaître la qualité de la betterave, on en extrait le jus, après râpage, par pression, et de la qualité de ce jus, on déduit celui de la racine. Or, nous avons vu ici comme premier exemple, une betterave dont le jus avait pour densité :

	1079	et pour coefficient	20,1
Une seconde	1071	—	10,1
Enfin, une troisième, mauvaise.	1040	—	1,8
et une portion tout à fait mauvaise	1037	—	0,9

Nous pourrions multiplier les exemples à l'infini, et nous arriverions à ce résultat constant, que plus la densité du jus est faible, plus faible aussi est le coefficient de pureté, c'est-à-dire que plus la densité du jus d'une betterave est faible, plus mauvaise est la betterave, et plus ingrat, par conséquent, est son travail en fabrique.

Durin, dans un très beau travail, a résumé tous les faits ayant trait à la qualité des betteraves comparée à la densité de leurs jus. Il a remarqué que plus un jus de betterave est pauvre en sucre, plus est grande la quantité de matières étrangères salines et azotées organiques, et plus aussi est faible la densité du jus ; qu'à un accroissement de sels correspond un accroissement de matière azotée ; qu'au-dessus de la densité 1040 (que l'on appelle 4°) la quantité des cendres est presque constante, quelle que soit la densité du jus, tandis qu'il n'en est pas de même au-dessous. En sorte que pour les jus sucrés riches en sucre, cette richesse saccharine est réellement proportionnelle au degré aréométrique du jus.

Si nous considérons maintenant un jus pauvre, le maximum de ma-

tière minérale qui se trouve dissoute dans le jus étant 14 grammes au litre pour les jus très impurs, ces 14 grammes de sel n'élèveront la densité du jus que de 0°,1 (ou 1°,5 Baumé) environ, tandis que 8 grammes, qui est la moyenne, n'entrent guère dans la densité du jus sucré que pour 0°,057 (ou 0°,75 Baumé). D'un autre côté, Frémy et Dehérain avaient constaté que les matières étrangères du jus, autre que les sels et le sucre, variaient de 4,50 à 19,80 0/0 de la matière sèche ; ces matières ont pour densité 2,000, selon les Allemands, 1,875 selon Durin, le sucre ayant pour densité 1,600 et celle des sels pouvant être comptée égale à 1,010. Durin en conclut que ces matières n'élèvent pas en moyenne la densité du jus de plus de 0°,018 (ou 1/4 de degré Baumé), en sorte que l'ensemble des sels organiques et des sels minéraux, fait une erreur de 0°,075 (ou 1° Baumé) en moyenne, sur la détermination du degré saccharométrique. Ce nombre, bien entendu, s'élève proportionnellement quand on descend au-dessous du degré moyen des jus, et surtout dans les jus pesant moins de 4°,5, ce qui prouve que les betteraves dont le jus indique un pareil degré sont tout à fait impropres à la fabrication ; il diminue, au contraire, dans les betteraves riches.

Il faut conclure de toutes ces considérations, qu'un fabricant devra s'attacher à acheter les betteraves dont le jus soit dense ; il aura alors une sécurité de plus sur la qualité de ses betteraves, sécurité qui s'accroît avec la richesse de la betterave. Il est à remarquer, d'ailleurs, que généralement le poids spécifique de la betterave elle-même est proportionnel à celui de son jus, et que plus est lourde une betterave sous l'unité de volume, plus elle est riche. De nombreux essais, tous concordants d'ailleurs, ont été faits dans cette voie. Nous citerons 43 analyses de Lelout, qui a classé les jus en série ainsi constituée :

1 ^{re} série, densité de 1,040 à 1,050	sucres % de betterave . . .	8,13
—	sels % de sucre . . .	12,16
2 ^{me} série, densité de 1,050 à 1,060	sucres % de betterave . . .	10,96
—	sels % de sucre . . .	6,43
3 ^{me} série, densité de 1,060 à 1,070	sucres % de betterave . . .	12,79
—	sels % de sucre . . .	4,90
4 ^{me} série, densité de 1,070, etc. . .	sucres % de betterave . . .	14,50
—	sels % de sucre . . .	2,93

Un très long et intéressant travail de Durin, rappelant heureusement les travaux de Frémy et Dehérain sur un sujet analogue, établit d'une autre façon les quotients de pureté qu'il classe comme il va suivre. Nous avons ajouté le coefficient de pureté indiqué plus haut.

Densité au-dessus de 1,040	quotient de pureté 65,45	coefficient de pureté 4,00
— de 1,040 à 1,045	— 74,45	— 4,40
— de 1,045 à 1,050	— 77,15	— 4,80
— de 1,050 à 1,055	— 80,50	— 5,20
— de 1,055 à 1,060	— 81,40	— 5,60
— de 1,060 à 1,065	— 82,10	— 6,00

et qui vont en augmentant graduellement, au fur et à mesure de l'accroissement de densité.

Pour apprécier approximativement et en moyenne la richesse en sucre des betteraves, d'après la densité du jus, Durin tire de ses nombres les multiplicateurs suivants, par degré de densité :

Pour le jus en dessous de 1,040 ou 4°,0	multiplicateur 1,74
— de 1,040 à 1,045 ou 4°,0 à 4,5	— 1,99
— de 1,045 à 1,050 ou 4°,0 à 5,0	— 2,03
— de 1,050 à 1,055 ou 5°,0 à 5,5	— 2,06
— de 1,055 à 1,060 ou 5°,5 à 6,0	— 2,08
— de 1,060 à 1,067 ou 6°,0 à 6,7	— 2,15

A l'aide de ces multiplicateurs, en tenant compte des pertes de sucre en fabrique et des frais divers de la fabrication, Durin établit comme suit le prix des betteraves rendues à pied d'œuvre suivant la densité, et au prix moyen de 20 francs les 100 kilogrammes rendant 5,40 de sucre industriellement.

Betterave dont le jus a une densité de 1,040	. . . . .	9 fr.
— — — 1,045	. . . . .	15,09
— — — 1,050	. . . . .	20,14
— — — 1,055	. . . . .	23,65
— — — 1,060	. . . . .	27,40
— — — 1,065	. . . . .	32 fr.

Les calculs de Durin ont été faits sur plus de 300 analyses.

On voit donc que le cultivateur a tout intérêt à produire de la bonne et lourde betterave, sujet sur lequel, d'ailleurs, les statistiques ne manquent pas, prouvant la plus-value excessive d'un champ produisant des betteraves riches, sur ceux qui ne font que des betteraves pauvres.

Enfin, nous avons réuni une centaine parmi nos analyses, qui nous ont donné les résultats suivants :

Densités moyennes.	Moyenne du sucre trouvé.	Coefficient trouvé.
1,0335	5,78	4,03
1,0417	7,68	4,16
1,0466	9,35	4,50
1,0519	9,86	5,07
1,0575	11,42	5,50
1,0625	12,66	5,98
1,0723	15,01	6,50

qui sont en parfait accord avec ceux de Durin, et qui prouvent une fois de plus la supériorité des betteraves dont le jus est dense.

Nous pouvons donc conclure avec H. de Vilmorin, que, dans les betteraves, les sels sont presque toujours en raison inverse de la richesse en sucre, si bien que les plus riches sont celles qui contiennent le moins de sels, non seulement en proportion de leur rendement en sucre, mais même de leur poids brut. Il en résulte que la betterave, dont le jus est plus dense, sera la plus riche en sucre, et relativement la plus pauvre en sels.

§ 8. — Transport du jus dans les tuyaux Linard

Au lieu de transporter les betteraves à l'usine, puis de ramener les pulpes épuisées dans les champs, transports qui sont considérables quand l'usine est grande, les centres de culture s'éloignant par là même de plus en plus, Linard a pensé qu'il serait plus commode d'extraire le jus de betteraves dans le rayon même des champs cultivés, qui peut être à dix, vingt, trente kilomètres de l'usine, et envoyer le jus à l'usine centrale par une canalisation souterraine. Par ce moyen on réunit en une seule grande usine le travail produit par une quantité de centres différents et qui eussent nécessité la construction de deux ou trois usines de moyenne grandeur. On réalise par là une grande économie de transport, de combustible, de matériel et d'ouvriers qui diminue d'autant le prix de revient du sucre obtenu. Linard, à la Société des ingénieurs civils, a décrit ainsi qu'il suit tout son système (1873).

« Cette idée m'est venue en 1867 ; elle a été la conséquence de la nécessité de transporter à la fabrique de Montcornet (Aisne) une quantité de plus de 5.000.000 de kilos de betteraves, reçues et mises en silos de Saint-Aquaire à Montcornet..... Je fis établir une râperie à Saint-Aquaire en 1867 ; elle fonctionna dès le mois d'octobre, transportant sans inconvénient à Montcornet le jus de 6.000.000 kilos de betteraves. Le jus était chaulé à raison de 1 % au départ. Le chemin le long duquel est établi le tuyau suit les sinuosités d'un terrain accidenté ; à certains endroits il s'élève à 40 mètres au-dessus du point de départ. L'expérience réussit convenablement ; toutefois la pression au départ dépassait mon attente, elle s'élevait jusqu'à 12 atmosphères ; c'était la conséquence du diamètre insuffisant d'une partie du tuyau à 67 millimètres sur une portion de la longueur. Dans cette partie, la vitesse du jus dépasse 50 centimètres par seconde. L'expérience m'a montré qu'il est bon de ne pas dépasser 30 centimètres et d'adopter autant que possible 25 centimètres pour la vitesse du jus.....

« Le développement rapide du système du transport du jus tient avant tout aux avantages qu'en retire l'agriculture. Comme nous l'avons dit, les cultivateurs y trouvent un grand bénéfice par la suppression des transports coûteux et surtout difficiles à l'époque des semailles d'automne. De plus l'établissement des râperies attire des ouvriers dans les contrées où la main-d'œuvre est rare, au grand profit de la culture. J'ajoute que les grandes usines travaillant avec des frais réduits peuvent garantir un prix plus élevé pour la betterave....

« Les usines peuvent se créer à proximité des cours d'eau navigables ou des stations de chemin de fer, ne se préoccupant pas exclusivement, comme autrefois, de faciliter les arrivages des betteraves à l'usine, de là suppression du transport sur essieux pour le charbon, le sucre et les mélasses. Les usines peuvent aussi étendre indéfiniment leur rayon d'approvisionnement, ce qu'elles ne pouvaient pas faire autrefois. Les accidents de terrain n'ont plus qu'une importance secondaire. Une râperie établie à Vézaponin (Aisne) alimente une usine dont elle est séparée par une montagne de 100 mètres d'élévation que ne pouvaient gravir les voitures chargées de betteraves. La pression au départ est de 15 atmosphères ; il a suffi d'augmenter de 3 millimètres l'épaisseur du tuyau dans la partie qui supporte une grande pression. Dans ces conditions exceptionnelles le transport du jus de 100.000 kilogrammes de betteraves par 24 heures à 8 kilomètres ne dépasse pas le travail de 3 chevaux-vapeur.

« Les tuyaux se placent le long des routes et chemins et sur les bas-côtés à 0^m,70 de profondeur ; on évite ainsi l'action de la gelée. Nous avons rencontré les plus grandes facilités de la part des administrations pour la pose des conduites. L'administration des ponts et chaussées s'est montrée particulièrement bienveillante pour un système qui, du reste, supprime dans une grande mesure les transports sur les routes et réduit les frais d'entretien.

« Un manomètre placé sur un récipient d'air au départ de la râperie indique la pression initiale ; il indiquerait immédiatement une rupture qui se produirait dans la conduite. Ce fait s'est produit deux fois sous des pressions exceptionnelles qu'il est nécessaire d'éviter. Depuis l'an dernier nous limitons la pression au départ par une soupape de sûreté chargée à 15 atmosphères. On peut limiter la pression des râperies extrêmes d'un collecteur en coupant le tuyau à une râperie intermédiaire et en établissant une pompe de relais.

« Les plus légères fuites sont accusées sur le sol par la mousse abondante que produit le jus au contact de l'air.

« Il ne se fait aucun dépôt calcaire dans les conduites, si l'on a soin

de ne pas dépasser la proportion de 1,25 % pour l'addition de chaux vive. Si du sable provenant de betteraves imparfaitement lavées est entraîné dans la conduite malgré le vase de sûreté placé au refoulement de la pompe à jus, il se dépose dans les premières longueurs de tuyaux qu'il est prudent de démonter au nombre de 5 ou 6 après chaque campagne.

« Lorsque le terrain que suivent les tuyaux présente une proflité tourmentée, il est bon d'établir aux sommets très accusés des robinets d'air qu'on ouvre à la mise en train et après chaque arrêt d'au moins douze heures. Il se produit pendant les arrêts un départ du jus et de l'air et celui-ci vient occuper les parties supérieures des profils ; à la mise en train, il en résulte des coups de bélier et des pressions excessives qui peuvent nuire à la conduite, surtout si la vitesse du jus n'est pas réduite aux proportions que j'ai indiquées. En ouvrant les robinets d'air on évite ces coups de bélier. Les ventouses automatiques ont dû être supprimées, des corps étrangers rendant incertain le fonctionnement de la soupape.

« Le jus chaulé à 1 % aux râperies n'est exposé à aucune altération pendant le trajet ; il est bien établi qu'au contraire l'action prolongée de la chaux lui est favorable.

« Un bac de 1.000 à 5.000 hectolitres, selon l'importance des installations, reçoit le jus à l'arrivée à l'usine ; si un arrêt se produit dans le travail des appareils de l'usine, le jus s'emmagasine dans le bac ; si l'arrêt est de trop longue durée, on suspend le travail des râperies. L'établissement d'un réseau télégraphique, autorisé depuis l'an dernier et reliant l'usine aux diverses râperies, nous permet de régler avec la plus grande facilité les mouvements des différents ateliers.

« La chaux... est transportée de l'usine aux râperies dans des sacs qui permettent d'en régler et d'en contrôler l'emploi, chose essentielle.

« Dans quelques localités où il est très difficile de se procurer de l'eau pour le service des râperies, nous avons creusé des citernes dans le sol, et en été nous y envoyons de l'usine l'eau nécessaire pour le travail de l'hiver. Cette quantité est à peu près égale à celle du jus à envoyer. Nous avons pu ainsi procurer de l'eau à des contrées où elle manque absolument en été et où les dangers d'incendie très graves autrefois pourront être amoindris.

« Il existe des conduites amenant du jus d'une distance de 33 kilomètres.

« Il résulte de ce travail en grand une sérieuse économie de main-d'œuvre ; le total de cette dépense, y compris l'ensilage des betteraves, a pu être réduit à 3 fr. 50 par 1.000 kilogrammes, inférieur de 0 fr. 50

aux dépenses des usines ordinaires marchant dans les meilleures conditions.

« L'extraction du jus (dans les râperies) entre dans le total (de la consommation de combustible de l'usine) pour un chiffre de 20 kilos. »

A cette description nous ajouterons les observations suivantes tirées d'une note de E. Maure, ingénieur de la maison Cail, sur le même sujet, et insérée dans les mémoires de la Société des ingénieurs civils.

Au sortir des presses hydrauliques le jus est reçu dans des bacs en tôle qui servent de jauge, et dans lesquels on ajoute la chaux nécessaire au transport du jus, soit 1 % de son poids. La chaux est totalement dissoute par le jus sucré ayant au moins 3° de densité. Le jus chaulé est absorbé par une pompe à piston plongeur et refoulé dans la conduite en fonte qui, partant de la râperie, le déverse dans des bacs-réservoirs servant à contrôler la quantité de liquide arrivée à l'usine, et à la comparer avec celle mesurée au départ de la râperie. Cette pompe, en général, aspire 8 litres par minute et refoule par 25 heures 1.800 hectolitres de jus avec une vitesse de 20 tours.

La vitesse de jus dans les tuyaux est d'environ 30 centimètres par seconde, ce qui fait qu'il demande une heure environ pour parcourir un kilomètre.

Ici nous ferons une observation sur le travail nécessaire pour refouler le jus dans des tuyaux gravissant et descendant les éminences. En effet, si la colline à franchir avait moins de 10 mètres de haut, la portion descendante de liquide ferait équilibre à la portion ascendante comme dans un siphon, et la colline serait franchie sans aucun effort supplémentaire à celui nécessité par un transport horizontal égal à la projection de la courbe. Car la pression atmosphérique faisant équilibre à une colonne d'eau de 10^m,33, le vide produit par la chute de liquide à la descente élèverait une même quantité de liquide à la montée, et le mouvement serait continu. Il en serait autrement si la montagne avait plus de 10 mètres. En effet, le vide produit par la chute du liquide descendant ne pourra jamais élever le liquide dans l'autre branche du siphon à plus de 10 mètres. Dès lors l'effort nécessaire pour faire gravir au jus une montagne de plus de 10 mètres sera celui nécessité par l'élévation d'une colonne de liquide de hauteur égale à celle de la montagne diminuée de 10 mètres environ. Dans le cas où nous sommes, les jus étant plus lourds que l'eau, la hauteur à retrancher ne sera plus de 10^m,33 mais un peu moins. Si D représente la densité du jus, cette hauteur sera : $H = \frac{10,33}{D}$.

Les tuyaux sont en fonte de première fusion et de diamètre variable

de 65 à 120 millimètres. Ils sont moulés mécaniquement et coulés debout afin d'avoir la plus grande régularité dans l'épaisseur; ils ont trois mètres et sont essayés à quinze atmosphères avant leur départ de l'usine.

Les joints des tuyaux sont à emboîtement, et faits avec le plus grand soin, en corde goudronnée, au-dessus de laquelle on coule du plomb qui est ensuite refoulé avec un mattoir. On essaye la conduite avec de l'eau avant de la recouvrir, et lorsque le travail a été fait par de bons ouvriers, on trouve à peine quelques points qui suintent. On les rematte de nouveau, et l'on peut être assuré qu'ils dureront un grand nombre d'années sans perdre.

L'engorgement dans les parties basses de la conduite par les matières tenues en suspension dans le jus qui pouvait *a priori* être redouté, ce qui eût été un grave inconvénient, a été complètement évité en ménageant au réservoir d'air placé à la sortie de la pompe de refoulement un vase de sûreté dans lequel ce courant interrompu dépose les matières en suspension, et notamment du sable où de la terre. D'ailleurs le jus avant son entrée dans la conduite est épuré par une filtration sur de la paille hachée qui retient toute la pulpe folle de betterave; il passe en outre par un tamiseur métallique avant d'arriver à la pompe. Une pompe à jus de râperie prend généralement 3 ou 4 chevaux de force.

Deloynes a imaginé un système qui réussit bien pour nettoyer les tuyaux lorsque la conduite a partout le même diamètre; il y lance avec un jet d'eau une boule en bois ayant 15 millimètres de moins en diamètre que les tuyaux; son passage répété plusieurs fois détache toutes les parcelles adhérentes. Si parfois quelqu'impureté l'arrête, il se produit tout autour un jet d'eau violent qui nettoie les obstacles, et la boule reprend sa course.

Chaque râperie en y comprenant le terrain, les bâtiments et le matériel, coûtera 70.000 francs environ pour un travail de 8 à 10 millions de kilogrammes, et 80.000 francs pour travailler 15 millions. La conduite d'un diamètre moyen de 10 centimètres coûtera, en y ajoutant les frais de terrassement, transports, joints en plomb, etc., 5.500 à 7.000 francs le kilomètre.

Une râperie de 6 kilomètres de distance coûtera donc environ 120.000 francs pour 16 millions de kilogrammes de betteraves.

D'après les comptes faits dans les usines, il a été démontré que les frais d'extraction du jus et de transport à l'usine montent à 1 fr. 50 les 1.000 kilos où par 1.000 litres de jus, ce qui fait une économie de 3 francs environ sur le transport par voie ordinaire, avec l'avantage de ne tenir aucun compte des difficultés de terrain qui rendent les trans-

ports parfois fort chers et même impraticables, et de supprimer toute subvention industrielle.

§ 9. — Eaux résiduaires.

Les sucreries ont besoin de beaucoup d'eau pour le travail de la betterave. Mais, après avoir utilisé cette eau, elles la rendent en totalité, et même davantage ; seulement elle est contaminée, chargée de matières organiques putrescible, et par conséquent inacceptable dans un cours d'eau qui doit servir plus loin à d'autres industries ou à l'alimentation des villages ou des villes. Ces eaux résiduaires sont la plaie de notre industrie, ou plutôt de toutes les industries chimiques ou agricoles. Aussi a-t-on cherché tous les moyens possibles de les rendre inoffensives.

Il y a lieu cependant d'examiner la nature de ces eaux et pourquoi elles sont si nuisibles.

En sucrerie on rejette : l'eau de lavage de la betterave ; l'eau des diffuseurs mélangée à la cossette ; l'eau des presses à cossettes ; quelquefois une certaine quantité d'eau des filtres-presses ; enfin l'eau de condensation des appareils à évaporer et à cuire, quand elle ne sert pas aux transporteurs hydrauliques ou qu'elle n'est pas refroidie pour servir de nouveau à la condensation.

L'eau de lavage de la betterave, jointe à l'eau du transporteur hydraulique, contient comme impureté des résidus de betteraves, queues ou morceaux de betteraves brisées, et de la terre ; de plus une infime quantité de sucre.

L'eau des diffuseurs contient des cossettes entraînées, des pulpes folles, un peu de sucre et de sels divers.

L'eau des presses à cossettes retient en suspension une quantité de pulpes folles considérable, avec sucre et sels comme les précédentes.

L'eau des filtres-presses est alcaline, et contient sucrate de chaux et sels de chaux.

L'eau de condensation est presque pure, et contient des traces de sucre et d'ammoniaque.

On voit que dans toutes ces eaux il n'y a de vraiment contaminées que celles qui viennent des diffuseurs, et surtout des presses à cossettes. Les autres sont, au sortir de l'usine, presque pures, et si on les filtrait immédiatement, ne présenteraient aucun danger ; et ce sont les eaux les plus abondantes, en supposant que l'eau des condenseurs aille au transporteur hydraulique.

Or, quelle est la méthode ordinairement suivie pour l'évacuation des eaux de l'usine ?

On établit dans le sous-sol un égout collecteur où coulent toutes les eaux d'évacuation, quelle qu'en soit la provenance. Toutes ces eaux mélangées se rendent dans un grand bassin où elles décantent; puis on les épure quelquefois avec un peu de chaux, et on les renvoie dans un autre bassin décanteur, et elles coulent enfin à la rivière après avoir suivi les sinuosités d'un fossé où elles déposent encore en moussant à chaque obstacle.

Dans tous les bassins de décantation, les matières organiques qui se sont déposées entrent bien vite en fermentation, ou plutôt en putréfaction; des bulles de gaz infect se dégagent de ces couches épaisses de boue, et les odeurs d'ammoniaque, d'acide butyrique, d'acide lactique, se mélangent de la façon la moins agréable pour le voisinage. Il en résulte que l'eau qui court sur ce tas de boue infecte se sature de ces infections, et va contaminer les rivières où elle tue les poissons et cause les plaintes des riverains. Remarquons cependant que ces eaux ne sont malsaines pour les poissons que parce qu'elles sont alcalines, mais qu'elles n'ont jamais empoisonné ni occasionné de maladie à aucun être humain, les microbes pathogènes n'y existant absolument pas.

On voit donc que, dans ces conditions, les eaux qui étaient saines au sortir de l'usine deviennent malsaines au sortir des décanteurs.

Rien que l'énoncé de ce fait suffit pour indiquer la défectuosité de la méthode du tout à l'égout unique en sucrerie.

Il faut donc scinder ses évacuations et faire en sorte que l'eau pure reste pure.

Il n'y aura donc plus que l'eau réellement contaminée de la diffusion et des presses à cossettes.

Au besoin l'eau de la diffusion pourrait elle-même presque disparaître en employant l'air comprimé dans le dernier diffuseur, et cette méthode pourrait être employée dans les sucreries qui ne possèdent pas de moyen facile d'évacuer leurs eaux résiduaires. Mais admettons qu'on ne l'emploie pas.

Nous établissons plus loin que pour le travail de 300.000 kilogrammes de betteraves on emploie :

Pour les laveurs	300	hectolitres d'eau
Diffusion	4000	—
1/2 lavage des filtres-presses .	200	—
Evaporation triple-effet . . .	24000	—
Cuite	10000	—
Total	38500	hectolitres d'eau.

Dans toutes ces eaux, en supposant que l'eau des condenseurs aille au transporteur hydraulique, nous avons donc 34.300 hectolitres chargés de terre et de queues de betteraves, et seulement 4.200 contaminés. Il semble donc naturel de chercher à filtrer ces 34.300 hectolitres avant que les matières qu'elles contiennent entrent en putréfaction, et les évacuer ainsi à la rivière. Quant aux 4.200 autres, ce seront les véritables eaux résiduaires dont on aura à se débarrasser ou que l'on cherchera à épurer, tandis que dans les conditions ordinaires on est encombré de 38.500 hectolitres d'eau putréfiée !

Le problème est donc posé. Séparons nos 34,300 hectolitres d'eau boueuse, et 4.200 hectolitres d'eau contaminée dans deux canaux différents. Qu'allons nous faire des unes et des autres ?

Les eaux boueuses contiennent de la terre et des queues de betterave, ces dernières seules étant à craindre.

Nous avons vu employer un moyen simple de faire une première séparation. Dans un courant vif la boue reste en suspension. Si donc sur le parcours de ce courant on met des grilles formées de barreaux de moins en moins espacés, on arrêtera les betteraves entières, les gros morceaux et les queues de betteraves sur ces grilles en laissant passer la boue. On décantera alors celle-ci et elle sera très peu fermentescible. Seulement cette méthode demande un ou deux hommes occupés à nettoyer de temps à autres les grilles. D'ailleurs avec des décanteurs bien faits, on peut facilement s'en passer, et enlever la boue avant qu'elle entre en putréfaction.

En Belgique, par exemple, l'administration avait prescrit à un certain moment l'établissement de petits bassins de décantation successifs arrangés de telle façon que l'on puisse en vider un tous les jours. Ce système marche très bien. Il coûte un peu cher à établir, mais une fois fait il rend le service demandé, et l'eau en sortant de là n'est nullement contaminée, la boue n'ayant pas le temps d'entrer en putréfaction. Ce n'est que dans les grands bassins que l'on emplit pendant tout le temps d'une fabrication que cette fermentation déplorable se produit. Mais les bassins pourront être d'autant moins nombreux et vidés tous les deux ou trois jours, qu'on aura mieux débarrassé l'eau de ses détritrus. D'ailleurs ces eaux sont froides, et la fermentation a moins de chance de s'y mettre.

En sortant des décanteurs, l'eau ne contient plus que des traces de matières organiques, et si elles circulent dans quelques fossés qui les aèrent par des changements de surface fréquents, l'air détruira les dernières traces de matières nuisibles, et l'on pourra sans crainte laisser couler ces eaux à la rivière.

Nous n'avons donc plus que 4.200 hectolitres d'eau contaminés, soit le dixième de la quantité dont on a à se débarrasser en sucrerie.

Une sucrerie placée dans les conditions voulues peut envoyer ces eaux en irrigation dans des champs voisins. Elles s'étendent à la surface du sol, et, l'oxydation aérienne suffit pour détruire ces matières très divisées et en faire un engrais parfait.

Mais en France il y a peu de sucreries qui disposent de champs d'épandage, et, coûte que coûte, il faut donner à ces eaux une innocuité telle que les poissons y puissent vivre, car c'est en mettant un poisson dans l'eau industrielle épurée que certaines administrations s'assurent de la valeur de l'eau en question. Si le poisson vit, tout va bien ; s'il meurt les foudres administratives poursuivent l'industriel jusqu'à ce que l'eau résiduaire ne soit plus nocive, dût l'industrie en mourir à son tour.

Dans ces eaux de diffusion, filtrées grossièrement pour en retirer les grosses cossettes, il y a des matières organiques en suspension, et des produits organiques en dissolution.

Si l'on met de la chaux dans ce liquide, une partie des matières en suspension et même en dissolution se précipite, ce sont des pectates de chaux en général. Mais si déjà un commencement de fermentation s'est opéré, les matières pectiques sont devenues métapectiques, et la chaux ne peut plus rien sur elles que faire des sels solubles.

Donc l'épuration par la chaux ne peut donner de résultats complets, et de plus elle a dans le second cas l'inconvénient de donner à l'eau résiduaire ainsi traitée une alcalinité dont rien ne pourra plus la débarrasser, et les poissons y mourront.

Il faut donc traiter ces eaux par la chaux aussitôt qu'elles sortent des diffuseurs ou des presses à cossettes et non pas après un séjour plus ou moins prolongé dans les fosses. A notre avis, les eaux des presses à cossettes qui sont les plus impures devraient être traitées à part et immédiatement au sortir des presses. On remarque, en effet, en les mélangeant avec de l'eau de chaux, une défécation abondante, qui, plus tard n'a plus lieu et devient même un centre de putréfaction butyrique.

Vivien a proposé l'emploi simultané du perchlorure de fer et de la chaux. Le perchlorure de fer traité par la chaux donne un précipité volumineux d'oxyde fer et d'albumine qui entraîne les impuretés en suspension. Il ne reste plus dans l'eau décantée que quelques impuretés que l'oxygénation ultérieure détruit rapidement. Ce procédé paraît recommandable d'autant plus que le perchlorure de fer est, en outre, un antiseptique remarquable, et, qu'en somme, le procédé ne coûte pas cher, 0 fr. 004 par hectolitre d'eau, ce qui ferait dans notre cas de

16 fr. 80 à 20 francs par jour, somme que l'on serait heureux de donner pour se débarrasser de ces eaux encombrantes.

On a proposé aussi les sels de fer et d'alumine, ou encore le protochlorure de fer, le sulfure de sodium et la dolomie calcinée (Oppermann) qui donnent de l'oxyde et du sulfure de fer, de la magnésie et du chlorure de calcium, la magnésie restant le seul alcali de l'eau traitée et se carbonatant vite à l'air ; puis l'acide phosphorique et la magnésie (Schlœsing), ou bien le phosphate acide de chaux (Lagrange).

Les boues phosphatées de ces derniers procédés ont une grande valeur agricole qui rachète une partie des frais. Tous ces procédés précipitent les matières organiques de l'eau. Le fabricant choisira celui qui est le plus à sa portée. Mais avant tout il faut qu'il raisonne aussi bien le problème des eaux résiduaires que celui du reste de sa fabrication ; s'il n'a pas l'emplacement nécessaire pour irriguer avec toute l'eau de sa fabrique, il doit séparer ses eaux suivant leur qualité, décanter ses eaux pures méthodiquement, traiter les eaux vraiment sales, et il réduira ainsi de beaucoup et ses frais d'épuration et ses ennuis avec l'administration.

LIVRE QUATRIÈME

ÉPURATION DU JUS DE BETTERAVE

CHAPITRE PREMIER

DÉFÉCATION

Nous avons étudié dans un précédent chapitre la nature chimique du jus et de ses éléments ; si nous nous y reportons, qu'observons-nous dans l'ensemble des propriétés des différents corps qui composent la betterave ? La première chose est que le sucre rencontre dans les jus deux ennemis : les acides et les matières capables de l'englober dans des combinaisons ou mélanges, tels que les sels et les matières organiques dissoutes, pour faire de la mélasse. La seconde est que le jus de betterave à évaporer doit être débarrassé de toutes ces matières organiques, minérales et colorantes, ainsi que de celles qui pourraient produire entre elles des réactions capables de faire naître de nouveaux ennemis du sucre.

Les acides qu'il faut d'abord combattre, puisqu'ils détruisent le sucre, tandis que les autres ne font que le masquer, seront facilement rendus inoffensifs par l'action d'un alcali qui devra séjourner dans le jus, tout le temps que ces acides seront en présence ; à cet effet, il fallait trouver un alcali faisant des combinaisons insolubles avec la plupart de ces acides, ou bien qui les décompose en corps inoffensifs. La chaux et la baryte présentent ces avantages, et la baryte plus que la chaux ; mais celle-ci, étant obtenue à meilleur compte dans les fabriques, a été adoptée. Les matières capables d'entraîner le sucre dans des combinaisons sont plus difficiles à connaître, et les mélasses qui en résultent sont encore mal définies, car leur étude présente une très grande difficulté dans l'état actuel de la science. On a reconnu qu'une certaine quantité de sels produisent ce mauvais effet, et l'osmose de Dubrunfaut parvient à en éliminer une bonne partie. Quant aux matières organiques qui produisent le même désavantage, on ignore par quel mécanisme elles l'opèrent exactement. Comment éliminera-t-on donc la plus grande quantité de ces matières étrangères organiques ?

Née dans le pays où pousse la canne, la fabrication du sucre introduite dans nos contrées européennes devait nécessairement jeter les yeux sur les colonies, pour apprendre à travailler les jus. Mais de grandes différences caractérisent les jus de canne et de betterave. La composition chimique élémentaire des deux liquides est peu différente, il est vrai, comme on peut le voir par le tableau comparé ci-dessous :

	Jus de canne moyen	Jus de betterave moyen (ramené à la même teneur en sucre).
Sucre.	19,0	19,0
Matière azotée	1,1	2,0
Matière grasse	0,4	0,4
Cendres et mat. extract. .	9,0	7,5
Eau	70,5	71,1
	100,0	100,0

Mais la propriété principale qui les caractérise, c'est que l'un pèse naturellement 12° Baumé, et que l'autre n'est amené là que par l'évaporation. De plus, il y a une certaine différence dans la nature de la matière azotée des deux liquides, telle qu'ils ne se comportent pas d'une manière tout à fait identique. Et cependant il est à peu près certain que si le jus de betterave était amené à 12° Baumé, son traitement comme celui de la canne serait bien simplifié. Or, le travail du vesou consiste dans une ébullition avec ou sans chaux. L'albumine se coagule, *forme chapeau*, et entraîne les matières étrangères en suspension ; la chaux, s'il y en a, s'y retrouve partiellement en combinaison avec les acides du jus de canne, tandis qu'une autre portion reste dissoute dans le liquide. L'opération n'a pas besoin d'une grande précision pour réussir. Avant d'aller plus loin, nous remarquerons que lorsque l'on porte à l'ébullition un sirop de betterave mal travaillé à l'état de jus, l'ensemble des mêmes phénomènes se reproduit, ce qui prouve l'analogie des deux liquides. Mais veut-on sur le jus de betterave naturel répéter la même opération, comme ont voulu le faire nos ancêtres et particulièrement Achard, on se trouve en face d'une difficulté, c'est que les dissolutions albuminoïdes, aussi étendues que dans le jus de betteraves, ne se coagulent pas de la même manière que les liquides concentrés ; c'est qu'aussi les matières pectiques se transforment par la simple ébullition, si elles ne sont pas saturées au préalable, et qu'enfin, si l'on ajoute un excès de chaux trop considérable, on n'obtient que des jus louches. Il a donc fallu beaucoup de tâtonnements pour arriver à un procédé rappelant celui des colonies, tâtonnements qui, commencés dès l'an IX de notre première République (1801), ne reçurent d'application

sérieuse, en France, que vers 1810, à la suite des travaux de Barruel, Derosne, et finalement de Dubrunfaut.

La défécation s'opère ainsi : lorsqu'une chaudière est chargée, on la chauffe jusqu'à 60 ou 65°. A cette température, on ajoute 2.500 grammes de chaux éteinte et délayée dans l'eau par 500 litres de jus. On agite alors fortement au mouveron pendant quelques minutes, et l'on observe le liquide à la cuiller ; si le dépôt ne se fait pas bien, on ajoute de la chaux nouvelle par 200 grammes, jusqu'à ce que les grumeaux se précipitent bien au fond de la cuiller. Quand on a obtenu ce résultat, on éteint le feu et on abandonne la chaudière à elle-même quelques heures, pour laisser le dépôt se faire, puis on décante. Cependant, la défécation simple par la chaux fut modifiée rapidement, car l'alcalinité trop grande des jus était un défaut fréquent qui entravait la marche de l'opération d'ailleurs délicate. Achard, vers 1792, avait imaginé de remplacer la défécation à la chaux par une défécation à l'acide sulfurique ; à cet effet, il ajoutait à froid, dans le jus 2 grammes $\frac{1}{2}$ d'acide par litre de jus, et laissait pendant 24 heures l'action se compléter. L'acide sulfurique coagulait l'albumine, précipitait une quantité d'acides organiques, et faisait une défécation que l'on terminait par la saturation de l'acide en excès par de la craie, et, quelques années plus tard, simplement par la chaux. On chauffait, on ajoutait du lait ou du sang, portait à l'ébullition, et séparait le chapeau du jus clair. Le procédé Achard eut fort peu d'adeptes, et le procédé de la défécation simple par la chaux lui fut généralement préféré, jusqu'à ce qu'il vint à l'idée de saturer la chaux en excès par l'acide sulfurique. Ce procédé, recommandé par Mathieu de Dombasle, Chaptal et autres hommes éminents de l'époque, complété par Dubrunfaut, est resté longtemps en vigueur. On opérait ainsi : « La chaudière étant chargée, dit Dubrunfaut, on la chauffera rapidement, puis on la déféquera à la chaux. Lorsque la proportion de chaux aura été assez grande pour rendre le jus bien clair et la séparation des flocons complète, la température pourra être de 70 à 75°, si l'on a mis la chaux, comme je l'ai recommandé, à 65° ; alors on prendra de l'acide sulfurique du commerce délayé dans dix fois au moins son volume d'eau, on l'ajoutera par petites portions à la chaudière, toujours en brassant fortement... Lorsqu'on a reconnu (par le sirop de violette, le tournesol) que la chaudière ne contient plus qu'un faible excès d'alcali, et qu'on a bien agité la masse avec le mouveron, on abandonne la chaudière à elle-même, sans avoir besoin d'écumer, et l'on retire le feu. » Cette opération était suivie d'une clarification au noir fin et au sang, décantage, et plus tard, filtration sur le noir.

Ce procédé dura jusqu'en 1849. Avant cette époque Kuhlmann, dès

1833, puis Barruel, avaient imaginé de remplacer l'acide sulfurique par l'acide carbonique ; mais ce procédé, mal combiné, n'avait pas prévalu. C'est à Rousseau que revint l'honneur de le mettre en pratique. Voici quelles modifications il donna au procédé :

On faisait, comme toujours, une défécation ordinaire à la chaux ; mais après avoir élevé la température du jus de 50 à 75° centigrades selon l'époque du travail, on ajoutait 15 à 50 kilogrammes de chaux éteinte par hectolitre de jus, suivant les cas, puis la température était élevée à 85 ou 90°, c'est-à-dire arrêtée avant l'ébullition. Alors on tirait à clair, pressait les écumes, et les jus réunis dans une chaudière étaient carbonatés jusqu'à sursaturation de la chaux restante. L'excès d'acide carbonique était chassé par une courte ébullition finale. On produisait ce gaz dans un petit fourneau à charbon, puis on le projetait dans les chaudières, au moyen d'une pompe. Ce procédé fut rapidement répandu dans les fabriques, car il économisait au moins 30 % du noir usité jusque-là.

CHAPITRE DEUXIÈME

CARBONATATION

§ 1. — Généralités.

Dix ans après (1859), Périer et Possoz, en participation avec la maison Cail, imaginèrent leur procédé d'épuration par l'action unique de l'acide carbonique sur la chaux. Cependant on avait eu bien souvent l'occasion de manier ensemble la chaux et le jus, avant la prise de ces brevets. De Dombasle recommandait de mettre une partie de la chaux dans les jus, avant la défécation, pour éviter la fermentation qui pourrait se développer pendant les quelques heures que le jus devait séjourner avant d'entrer en travail, et Dubrunfaut, reprenant ces essais, publiait en 1825 qu'il considérait cette opération comme d'autant plus nécessaire qu'on opérait sur de plus grandes masses, et, dès lors, recommandait de faire l'addition de chaux à froid, aussitôt que le jus sortait des presses. Trente ans après, Maumené cherchant un moyen de conservation de la betterave, imagina de prendre un brevet basé sur les expériences de de Dombasle et de Dubrunfaut, pour la conservation des jus en citernes au moyen de la chaux à froid, et accusa Périer, Possoz et Cail de spoliation de son procédé, lorsqu'ils prirent leur brevet de fabrication, parce qu'ils mettaient la chaux à froid dans les jus. La décision des experts et des tribunaux fut en faveur du procédé Périer, Possoz et Cail, qui prit dès lors une extension universelle ; et ceux qui portent les noms de Frey et Jelineck, aussi bien que le procédé Boivin et Loiseau, reposent tous sur les mêmes principes que nous allons étudier.

Nous disions précédemment qu'aussitôt que le jus est pressé, il doit être mis en contact avec la chaux pour saturer les acides. Or nous voyons que la chaux forme avec les uns des sels solubles, et avec les autres des sels insolubles ; ces derniers seront donc éliminés immédiatement par une simple décantation. Mais les acides ne sont pas seuls à faire des combinaisons calciques ; presque tous les corps organiques en font. Nous précipiterons donc d'un seul coup dans les jus : la pectine, la parapectine, la métapectine, les acides pectique, parapectique, oxalique, les matières ulmiques, la légumine, etc. Bien entendu, nous considérons tous les corps qui pourraient s'y trouver, dans quelque état

que soit la betterave, pure ou non, bien ou mal conservée. D'autres corps formeront des combinaisons solubles à froid, des alcalis seront mis en liberté. Ces réactions multiples et salutaires forment ce que l'on nomme la défécation à froid. Le jus privé de ses acides, d'une partie de ses matières organiques, n'est plus sujet à la transformation glucosique, son sucre uni à la chaux est mis à l'abri des ferments, une partie des matières azotées étant d'ailleurs elle-même précipitée. C'est sur ces faits que Maumené basait son mode de conservation des jus. Il est un fait d'ailleurs assez remarquable ; c'est que plus longtemps dure ce contact, plus parfaite encore est la défécation ; aussi plus les jus sont conservés longtemps sur la chaux, plus faciles ils deviennent à travailler, mais cela seulement lorsque les betteraves sont bien mûres. On ne peut conserver par la chaux les jus des betteraves encore vertes, sinon l'acide malique des jeunes plantes formant un malate de chaux soluble et des corps visqueux, donne au travail plus d'entraves que si le jus n'eût pas été traité à froid par la chaux. C'est ce qui explique les mauvais résultats que quelques opérateurs ont éprouvé, soit au temps de de Dombasles, soit de nos jours, par l'action de la chaux seule sur le jus.

Mais qu'arrivera-t-il si l'on chauffe la chaux en présence de toutes ces combinaisons dans le jus, sans décantation préalable ? Quelques combinaisons nouvelles insolubles se feront, telles que celles de l'acide malique ; des décompositions totales pourront avoir lieu, comme pour la légumine qui donne un sel soluble par l'ébullition calcique, et d'autres partielles. Il est donc indispensable de trouver un travail conciliant toutes ces exigences.

Or, l'ancienne défécation ne donnait qu'un résultat partiel ; le procédé Rousseau ne l'améliorait que légèrement. Le procédé ayant pour programme de décanter les jus clairs surnageant les précipités de la défécation à froid, et de les faire bouillir avec la chaux, n'aurait que le demi-inconvénient de provoquer quelques décompositions dans les corps qui ne demandent pas à être chauffés avec la chaux. Enfin, tous ces procédés n'atteignent pas directement la matière colorante. C'est ici que doivent se placer les observations de Périer et Possoz. Ils avaient remarqué que lorsqu'au sein d'un jus de betterave coloré on produit une précipitation de carbonate de chaux, ce corps saisit dans sa masse la matière colorante à la manière des laques, et la précipite avec lui en décolorant le liquide, entraînant de même une grande partie des composés organiques calciques formés latéralement avec le carbonate dans le jus, pourvu cependant que le jus reste alcalin par la chaux. Un excès de gaz carbonique, redissolvant le précipité, remet en liberté la matière colorante et autres matières organiques. Ils imaginèrent donc d'opérer

une première carbonatation, en laissant quelque peu de chaux dans le jus, de décantier, et alors de finir la saturation dans une deuxième carbonatation avec addition de chaux, qui entraîne encore en se précipitant une portion de matières diverses, en faisant corps et aidant à la décantation.

§ 2. — Travail des jus de presse par double carbonatation.

Voici comment nous conduisons la double carbonatation avec les jus de presse, en tenant compte des propriétés des différentes substances qui composent la betterave. Mettre de la chaux dans le jus aussitôt que possible, soit même dans l'ensemble du jus et de la pulpe, en mettant de l'eau de chaux ou du sucrate de chaux à la râpe. Séjour suffisant, mais aussi long que possible, de la chaux en présence des jus, tel que l'on opère en conservant les jus dans les citernes, dans des bacs d'attente au sortir des râperies, ou en les faisant voyager dans les tuyaux Linard. On sature ainsi les acides, forme avec la pectine des pectates, et, avec les matières protéiques, des sels calciques. S'il était possible, dans la disposition de l'usine, de prendre les jus clairs décantés laissant de côté les boues de défécation à froid, cela ne vaudrait que mieux, sinon on traitera les jus troubles sans grand inconvénient. On y ajoute un excès de chaux, 15 à 30 millièmes, dans les bacs à carbonater, et on laisse passer le gaz à froid d'abord. On devrait pousser la carbonatation à froid jusqu'au bout ; mais pour ne pas perdre de temps, on commence à chauffer doucement dès le milieu de la carbonatation ; en réalité, c'est une pratique défectueuse, puisque cela favorise la décomposition calcique de la légumine. Les jus chaulés ne doivent pas être chauffés longuement en présence des sels calciques précipités naturellement par leur propre insolubilité, on risque de les rendre solubles ; tout au plus peut-on approcher du bouillon. Mais il est des difficultés pratiques devant lesquelles on doit s'incliner. A la fin de la carbonatation, on laisse deux millièmes de chaux. On porte alors rapidement le jus à 90°, pour ramasser les boues, on laisse reposer et l'on décante.

On ajoute aux jus clairs 2 à 10 millièmes de chaux, et l'on porte quelque temps au point d'ébullition ; de cette sorte, les composés calciques formés dans les jus qui ne demandent pas l'action de la chaleur, ayant été éliminés, il n'y reste que les sels solubles et les matières non unies à la chaux, qui sont portées à l'ébullition. On sent alors toujours une forte odeur ammoniacale provenant de la décomposition de l'asparagine et des sels ammoniacaux qui ont échappé ; la légumine n'en peut four-

nir, ne devant plus se trouver là, puisqu'elle a été précipitée dans les boues à froid, au début de la carbonatation. De plus, s'il y a du glucose, il se trouve décomposé en glucate et apoglucate ou produits ulmiques, suivant le temps que l'on chauffe. En tout cas, les jus se colorent. On carbonate alors rapidement, en ayant soin de ne pas aller plus loin que l'exacte saturation, on donne un dernier coup de bouillon, qui ne doit pas être trop prolongé pour ne pas décomposer du sucre, on laisse déposer et on décante. Ces jus ne sont pas tout à fait neutres au papier, parce que les alcalis, potasse et soude, mis en liberté, sont à l'état de carbonates qui bleuissent le tournesol ; cependant ils ne contiennent pas, à proprement parler, d'alcali libre, en sorte qu'ils sont très enclins à l'acidification et la fermentation.

Ce travail a l'avantage sur les autres procédés :

1° D'éviter la précipitation du sucre dans les boues, comme nous l'avons expliqué à propos des travaux de Feltz, à cause même de l'impureté du jus, impureté moins grande dans les jus déféqués ;

2° De conserver tout le pouvoir épurant de l'acide carbonique, puisqu'on ne sature pas à la première carbonatation avec l'acide carbonique, condition excellente qui ne se présente pas dans le procédé Rousseau ;

3° De carbonater la seconde fois à chaud, en sorte que malgré la plus grande pureté du jus, les boues n'entraînent pas de sucrosels.

Quelques fabricants, pour ne pas colorer leurs jus, ne veulent pas transformer le glucose en glucate. Il faut alors opérer très rapidement, mettre la chaux dans les bacs où l'on carbonate et faire passer le gaz carbonique immédiatement et avec vigueur, chauffer le moins possible à la fin de la première carbonatation ; carbonater les jus décantés après avoir laissé 2/1000 de chaux ; ne pas chauffer longtemps à la fin de cette deuxième carbonatation pour ne pas donner naissance à du carbonate d'ammoniaque, comme nous l'avons expliqué à propos de l'asparagine ; par conséquent, il ne faut pas non plus pousser le gaz carbonique plus loin que la saturation. Par cette pratique, on a des jus plus beaux, mais la masse cuite n'est ni meilleure ni plus blanche, au contraire ; le sucre n'est pas plus blanc non plus, car les combinaisons insolubles de la chaux avec les matières organiques peuvent n'avoir pas eu le temps de se faire complètement. Le premier procédé assure donc une défécation plus complète. Enfin on peut dire que le jus de betterave contient si rarement du glucose, et un bon travail en forme si peu, que l'on ne doit pas s'en préoccuper outre mesure.

§ 3. — Travail des jus de diffusion par double carbonatation

Ce qui précède ne se rapporte qu'aux jus de presse.

Avec les jus de diffusion la carbonatation peut se conduire autrement et pour plusieurs raisons.

Celle qui nous semble prédominer toutes les autres, c'est l'absence dans les jus de diffusion de matières extractives dont les jus de presse sont remplis. Les jus de diffusion sont filtrés sur la cossette ; les particules infiniment petites n'existent pour ainsi dire pas dans la cossette.

Dans le jus de presse, au contraire, la pulpe est réduite en certains points en bouillie tellement fine, qu'elle passe à travers les tissus ou les surfaces filtrantes les mieux conditionnées.

Si on laisse déposer un jus de diffusion dans une éprouvette il ne se forme presque pas de pied dans le bas, tandis qu'avec le jus de presse un tiers de l'éprouvette environ s'emplit d'un dépôt blanc qui n'est autre chose que la pulpe de la betterave.

Cette différence dans la constitution des jus indique immédiatement pourquoi le jus de presse doit être traité à froid par la chaux, sous peine de voir disparaître les produits gommeux.

Les jus de diffusion, au contraire, peuvent être traités à chaud sans aucun inconvénient.

La seconde raison est que le jus de diffusion a déjà été porté à 75° dans les diffuseurs et qu'il sort à 45° environ après le meichage. Par conséquent, c'est du jus déjà chauffé à une température élevée en présence duquel on se trouve, dans lequel n'existent pas les matières qui se coagulent à cette température et qui, traitées par la chaux, donneraient les produits gommeux.

Aussi la carbonatation des jus de diffusion peut-elle se faire à chaud. On y trouve même l'avantage d'une défécation préalable qui aide la carbonatation et la rend plus rapide.

Première carbonatation. — La carbonatation des jus de diffusion s'opère donc à chaud, mais de deux manières différentes.

Les uns chauffent le jus cru, tel qu'il sort de la diffusion, et y ajoutent la chaux après.

Les autres chauffent le jus avant de le chauffer. Encore ici y a-t-il des fabricants qui préfèrent ajouter 1 % de chaux seulement avant le chauffage, d'autres y mettent la totalité de la chaux,

Pour notre compte, nous ajoutons la totalité de la chaux avant chauffage, et carbonatons les jus ainsi chaulés après les avoir portés à 75 ou 80° centigrades. Nous nous trouvons fort bien de cette pratique.

Le reste de la carbonatation se fait comme il est déjà dit précédemment.

Quelles sont les réactions chimiques qui se passent dans les jus depuis leur naissance dans les diffuseurs jusqu'après leur carbonatation ?

Les matières pectiques et albuminoïdes étant les substances nuisibles les plus abondantes que l'on rencontre dans le jus, nous ne nous occuperons que de celles-là, nous référant à ce que nous avons dit précédemment.

Il semblerait *a priori* que l'on ne devrait trouver dans le jus de diffusion, ni matières pectiques, ni matières albuminoïdes, puisque les matières colloïdes restent dans les cellules.

Mais la betterave est coupée en cossettes, et toutes les tranches présentent une certaine quantité de cellules déchirées abandonnant à l'eau albumine, pectine, etc. C'est une première cause pour laquelle le jus de diffusion contient ces éléments.

Le fait est encore plus évident si les couteaux coupent mal et arrachent la betterave. Mais le fabricant négligent qui ne change pas ses couteaux aussi souvent que cela est nécessaire ne doit pas se plaindre d'un mauvais travail, cela dit, sans vouloir pousser l'observation à l'extrême ; car avec des betteraves montées, par exemple, le meilleur fabricant ne peut éviter la pulpe folle.

Mais plaçons-nous dans les conditions normales pour raisonner, car lorsque la force des choses vous met dans une position anormale, on fait ce que l'on peut pour en sortir. C'est là que l'homme expérimenté peut montrer son savoir en conduisant le travail au mieux des intérêts de l'usine.

Donc nous voilà en présence de cossettes bien coupées. La diffusion s'opère normalement pour la partie interne de ces cossettes, et la tranche abandonne ses parties extractives.

Or, cette opération se fait à chaud ! on se trouve dans un milieu alcalin par le carbonate de potasse qui diffuse avec le sucre ! Que se passe-t-il alors.

Il est évident que les matières pectiques se transforment en acides pectosique, pectique et parapectique, capables de réagir sur les carbonates. De l'acide carbonique se dégage et forme partiellement les gaz des diffuseurs, et les pectates alcalins formés passent dans le jus.

A cause de l'élévation de la température, les mêmes réactions se passent également au milieu des cellules et les sels alcalins organiques diffusent alors partiellement avec le sucre et les sels à acides minéraux. Mais il est bon d'observer que ces matières sont en faible quantité par rapport à la masse du liquide, que, par conséquent, ces actions sont

partielles et non générales, et que, dès lors, les acides pectiques ne peuvent se combiner en totalité aux alcalis et qu'une partie reste à son état d'acide organique. C'est à leur présence que les cossettes doivent leur toucher gluant. Enfin, une autre partie peut même se transformer en acide métapectique soluble sous l'action trop lente du travail de la batterie, comme en cas d'arrêt, par exemple, source ultérieure de sels de chaux, et aussi d'acidité de jus.

Toutes ces réactions se produisent dans les diffuseurs au sein desquels la betterave est chauffée en présence de l'eau. Aussi doit-on entretenir la moindre température possible dans la batterie tout en assurant la rapidité du travail.

Et l'albumine? Elle devrait se coaguler, puisque la température des cossettes dépasse à certains moments 63°. Mais en présence de beaucoup d'eau et des carbonates alcalins, la coagulation n'est que partielle, ce qui est cause de ce que l'on rencontre de l'albumine dans le jus. Enfin certains sels, comme les nitrates, dissolvent l'albumine. Si le liquide devient acide, les matières albuminoïdes coagulées peuvent être solubilisées à leur tour, seule la légumine se précipite sous leur action.

Voilà donc le jus auquel nous avons affaire avec la diffusion, jus chauffé déjà, dans lequel toutes les décompositions qui sont possibles à la température de la batterie ont eu lieu.

Si l'on chauffe de nouveau ce jus dans un réchauffeur les actions se complètent. Une nouvelle quantité d'albumine se coagule, la pectine finit de se transformer en acide pectique et tous deux encombrant les tubes des réchauffeurs avec leur masse gélatineuse.

Mais le chauffage de ce jus cru n'est pas entièrement favorable à l'épuration, car il doit fournir en abondance les acides qui feront ultérieurement avec la chaux des sels solubles.

Au contraire, si dans ce jus de diffusion on met avant chauffage de la chaux, les matières pectiques seront bien vite transformées en peccate de chaux insoluble, et d'autant plus que le jus sera plus chaud, car les bases alcalines mises en liberté rendent le milieu moins soluble pour tous ces corps. La chaux doit donc être en assez grande abondance pour déplacer la potasse et la soude de leurs combinaisons.

L'albumine, d'autre part, que les acides de la betterave avaient pu redissoudre, devient insoluble en présence de la chaux surtout à une température élevée. Quant à la légumine la chaux la rendrait soluble si la présence d'une certaine quantité de carbonate de chaux n'empêchait pas cette solubilité par la chaleur. Et, de fait, les sels de chaux dans ces conditions ne sont pas plus abondants après qu'avant chauffage, et même la pureté augmente.

Les jus de betteraves non arrivés à maturité se trouvent également bien de ce chauffage, car l'acide malique qu'elles renferment devient insoluble en présence de la chaux à haute température, seule manière de s'en débarrasser.

Nous ne voulons pas dire que le chauffage du jus de diffusion en présence de la chaux soit une panacée infaillible contre les sels de chaux. Non. Mais nous croyons que le jus de diffusion contient moins de sels de chaux quand on le carbonate à chaud que quand on le carbonate à froid ; qu'il y a avantage à le chauffer d'avance, parce que la défécation qui en résulte est bienfaisante pour la suite du travail ; qu'enfin il y a avantage à chauffer le jus en présence de toute la chaux qui doit entrer dans la première carbonatation.

Il y a malheureusement des acides capables de faire des sels de chaux solubles que le chauffage ne peut précipiter. Ils proviennent d'une diffusion trop lente et trop chauffée, ou d'une mauvaise qualité de betterave. La carbonatation à froid serait alors préférable pour ces corps là. Mais, dans un travail normal, la carbonatation chaude des jus de diffusion est bienfaisante et nous la recommandons.

Depuis de longues années on l'emploie en Autriche, et c'est ce procédé que nous appliquons généralement dans nos installations, tout en tenant bien compte cependant de la nature de la betterave en présence de laquelle on se trouve.

On voit donc quelle grande différence il y a entre le jus de presse et le jus de diffusion, différence telle que le traitement de chacun d'eux ne peut se comparer.

D'après ce qui précède, on comprend aussi pourquoi les jus de diffusion légèrement chaulés se tiennent moins bien que les jus de presse dans les tuyaux Linard. Les directeurs des usines centrales trouvent généralement que les jus des râperies sont plus difficiles à travailler que ceux des batteries d'usine. Avec les jus de presse il en était tout autrement.

C'est aussi pourquoi le procédé Maumené avec ses citernes aurait moins de chances de réussite avec la diffusion qu'avec les presses.

La seconde carbonatation ne diffère pas du travail des jus de presse. Seulement on constate beaucoup moins de dégagement d'ammoniaque quand on fait bouillir les jus chaulés après la première carbonatation, pour la raison, sans doute, que les produits azotés organiques sont restés d'une part dans les cossettes, et d'autre part sont précipités par la chaux quand on a porté le jus brut chaulé à 75° avant la carbonatation. Aussi l'ébullition calcique qui précède la deuxième carbonatation

est-elle généralement inutile. Nous sortons les jus au sortir des filtres-presses de première, nous les chaulons à 95 ou 100° dans les réchauffeurs, nous coulons dans les chaudières à carbonater, et terminons l'opération sans chauffer davantage. Cette fin d'opération se fait en laissant l'alcalinité due à la potasse, contrôlée par les réactifs, et l'on n'ajoute jamais de chaux après la carbonatation terminée, comme cela se pratiquait souvent avec les jus de presse.

Le travail des jus de diffusion diffère donc sensiblement du précédent, mais il n'y a aucune contradiction avec la théorie qui a précédé, à l'inexécution de la carbonatation à froid. La nature du jus seule a changé et a conduit à tenir les jus toujours chauds, condition excellente pour éviter les fermentations si fréquentes avec les jus de presse.

Troisième carbonatation. — Depuis un certain nombre d'années on a mis en pratique une troisième carbonatation comme complément final des deux premières, la seconde n'étant pas alors poussée aussi loin que dans notre ancienne pratique.

Le raisonnement que l'on tient dans ce cas est celui-ci. La seconde carbonatation, avec son addition de chaux, est une véritable épuration du jus. En effet, lorsqu'on arrête cette opération avant la saturation complète, les écumes sont encore grises, et elles deviennent beaucoup plus blanches si l'on sature complètement. Il vaut donc mieux séparer cette écume grise avant de finir la saturation, ce qui est juste.

On carbonate donc les jus chaulés comme de coutume, en laissant 0,5 à 0,8 de *chaux réelle*, on passe aux filtres-presses, filtres mécaniques, et l'on reçoit les jus clairs dans des bacs où l'on termine la saturation à neutralité sans ajouter de chaux. On passe de nouveau aux filtres-presses et filtres mécaniques, et l'on obtient des jus très beaux, très clairs et réellement plus épurés qu'avec deux carbonatations seulement.

Il faut ajouter à l'épuration chimique que donne ce travail, l'épuration physique que donne une filtration complémentaire, et qui entre pour quelque chose dans le résultat final.

On a souvent remplacé la troisième carbonatation par une saturation à l'acide sulfureux. Nous étudierons plus loin les conditions à remplir pour que cette sulfitation soit efficace.

§ 4. — Elimination des impuretés du jus pendant la carbonatation

Le travail de la carbonatation ayant pour but la purification du jus, on a cherché à se rendre compte de la quantité de ces impuretés qui avait été éliminée pendant les différentes phases du travail, et aussi quel était le mode de travail qui en éliminait le plus.

Il est évident que l'on ne peut pas établir sur ce point de règle générale, tout dépendant de la nature de la betterave. On ne peut que faire des comparaisons entre les produits d'une même usine à la même époque de travail. Des exemples vont le montrer.

L'épuration calco-carbonique est de deux sortes; elle élimine en grande quantité les matières organiques en faisant des sels de chaux ou des laques; elle enlève aussi une certaine quantité d'acides minéraux, oxalates, sulfates, et quelque peu de potasse entraînée dans des combinaisons doubles et dans les précipités albumineux et pectiques.

Voici quelques exemples.

Beudet a constaté que la différence entre les coefficients salins du jus de la betterave et du jus de carbonatation filtré a été de 4,57 pendant la campagne 1889-90 et 5,23 pendant la campagne 1890-91. Quenesson, à la même époque, a trouvé pour les coefficients salins : jus de betteraves 15,12; jus de diffusion 21,06; jus de deuxième carbonatation 22,85. Collignon trouvait d'autre part : coefficient salin du jus de diffusion 18,52; jus de deuxième carbonatation 21,98.

On voit que l'épuration saline est très importante, mais excessivement variable.

Mittelmann a donné les chiffres suivants pour la sucrerie dont il était chimiste :

Jus de diffusion	}	coefficient salin	de 23,80 à 25,40
		— organique	5,03 à 8,25
2 ^e Carbonatation (maximum)	}	coefficient salin	32,37
		— organique	9,82

Voici les renseignements que donne Lachaux.

Jus de diffusion	}	coefficient salin	25,81
		— organique	9,92
2 ^e Carbonatation	}	coefficient salin	29,15
		— organique	15,30

Soit une épuration de 11,50 % des matières salines et 33,10 % des matières organiques.

Lachaux estime que la double carbonatation élimine en général :

8 à 10 % des matières minérales
35 à 40 % — organiques.

Soit en moyenne 46 % des substances étrangères.

Slassky a fait des essais pour se rendre compte du degré d'épuration produit par différentes méthodes de carbonatation.

1° *Procédé de double carbonatation* (Frey-Jellinek) avec 3 % de chaux.

Jus initial . . .	non sucre	0/0 de sucre.	. . . . .	20,9
Jus carbonaté . . .	—	—	. . . . .	12,1

Donc 42,1 % de non sucre % de sucre ont été éliminés.

2° *Procédé Liébert* : Défécation, saturation, filtration mécanique (3 % de chaux).

Jus initial . . .	non sucre	0/0 de sucre.	. . . . .	17,3
Jus carbonaté . . .	—	—	. . . . .	10,5

Elimination de 39,3 0/0 du non sucre

2° *Procédé Kuthe-Anders* : 1/2 % de chaux, plus 1 % d'écumes des filtres-presses de deuxième défécation, deux carbonatations, filtration mécanique.

Jus initial . . .	non sucre	0/0 de sucre.	. . . . .	18,9
Jus carbonaté . . .	—	—	. . . . .	11,13

Elimination de 33,4 0/0 du non sucre.

4° *Procédé Heffler* : défécation, deux carbonatations (1,5 % de chaux), les meilleurs résultats d'épuration.

Jus initial . . .	non sucre	0/0 de sucre.	. . . . .	17,6
Jus carbonaté . . .	—	—	. . . . .	11,7

Elimination de 33,5 0/0 du non sucre.

On voit donc que c'est la double carbonatation ordinaire qui donne les meilleurs résultats d'épuration.

Tous ces résultats sont plus ou moins comparables, puisque, comme nous venons de le voir, suivant l'année ou le pays, on obtient des résultats différents. Il était bon, cependant, de s'arrêter un peu sur cette question qui est capitale, mais dont on ne peut dire que des choses trop vagues pour en tirer des conclusions.

CHAPITRE TROISIÈME

APPAREILS EMPLOYÉS A LA CARBONATATION

Nous allons décrire maintenant les différents appareils employés pour la carbonatation.

§ 1. — Monte-jus

Le monte-jus, figure 52, est un cylindre A vertical dans lequel plonge un tuyau B jusqu'au fond. Une prise de vapeur à haute pression D, force le liquide que contient ce cylindre à sortir par la seule issue qui lui soit ouverte, c'est-à-dire par le tube plongeant qui le mène parfois

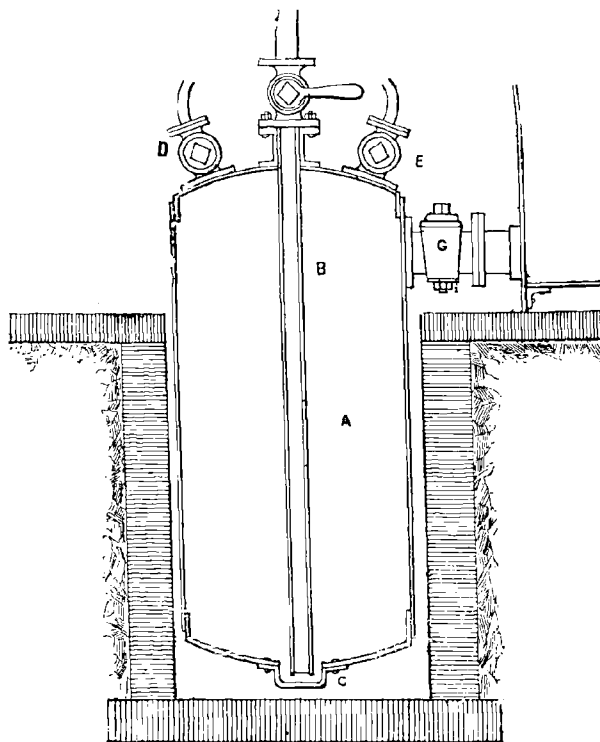


Fig. 52

à de grandes distances dans les bacs destinés à le recevoir. Pour assurer la vidange complète du monte-jus, le fond en est garni d'une cuvette peu profonde C dans laquelle plonge le tuyau. De la sorte tout le liquide restant se rendant dans cette cuvette est chassé jusqu'à la dernière goutte. Le monte-jus, une fois vide, se trouve rempli de vapeur ; un second robinet E sert à évacuer au dehors cette vapeur, et à rendre à l'intérieur la libre communication avec l'atmosphère, pour que le monte-jus s'emplisse sans pression du liquide placé dans le bac F qui lui est latéral, et qui communique avec lui par un gros robinet G.

Tel quel le monte-jus est un instrument très commode, mais il a de graves inconvénients. D'abord, il emploie beaucoup de vapeur, et cette vapeur est perdue, car on ne peut l'envoyer dans le réservoir des vapeurs de retour où règne toujours une certaine pression. Le second inconvénient, fort grave d'ailleurs, provient du contact immédiat des jus sucrés avec la vapeur à haute pression, soit à 130 ou 150° de température, éminemment propre à la destruction du sucre. En effet, lorsque l'on ouvre un monte-jus, on sent toujours à l'intérieur une odeur des plus désagréables. Enfin, indépendamment de l'élévation de température, il se fait aux surfaces de contact une condensation de la vapeur sous l'influence du liquide plus froid qui dilue le jus ou sirop, et occasionne une perte de vapeur correspondante doublée d'une augmentation dans la vapeur dépensée à l'évaporation.

Ces défauts font préférer aux monte-jus les pompes dont l'action est plus régulière et plus économique, comme nous allons en établir le calcul.

On a proposé dans ces derniers temps l'usage pour les monte-jus de la pression de l'air comprimé par une pompe dans un réservoir spécial. Son emploi est plus économique que celui de la vapeur, et, sans en avoir les désagréments, il en possède tous les avantages ; c'est pourquoi on l'applique quelquefois, surtout pour les monte-jus des filtres-presses.

Monte-jus ou pompe. — Pour relever le jus de la première carbonatation à la seconde, si l'on employait des monte-jus par lesquels passeraient par exemple 3.500 hectolitres, que dépenserait-on de vapeur ?

On dépenserait d'abord 3.500 hectolitres de vapeur à 5 atmosphères pesant environ 2 kilogrammes $\frac{1}{2}$ le mètre cube, soit 875 kilogrammes de vapeur. De plus on emplira et videra successivement le monte-jus qui aura au moins 50 hectolitres de capacité pour recevoir une chaudière. Un monte-jus de 50 hectolitres pèsera environ 800 kilogrammes. Si le jus arrive à 90° dans le monte-jus, celui-ci se trouve chauffé à cette température ; la vapeur étant à 152° sera en contact avec une paroi qui

se trouve à 90° au plus, soit une différence de $152 - 90 = 62$. La chaleur spécifique de la tôle étant 0,114, il faudra pour réchauffer le monte-jus de 62° employer :

$$800 \times 0,114 \times 62 = 5654,4 \text{ calories.}$$

dont 2,240 seront reprises par le jus qui viendra remplacer le précédent soit donc, pour réchauffer le monte-jus :

$$\frac{3414,4}{689 - 90} = 5,69 \text{ de vapeur.}$$

Comme on se servira 80 fois du monte-jus par 24 heures on dépensera $80 \times 5,69 = 455,2$ kilogrammes de vapeur.

Cependant ce nombre est un peu fort parce que le monte-jus ne prendra pas évidemment la température de 152° à la fin de la vidange. Mais comme il serait un peu excessif de se servir 80 fois d'un monte-jus en 24 heures, on en emploiera deux pour ce service, ce qui ferait un réchauffage double de la tôle, et à la fin de la journée on arrivera à un chiffre évidemment plus élevé que celui-là. Nous pouvons donc regarder ce nombre comme étant au-dessous de la vérité.

Nous avons enfin le réchauffage du jus qui est à 90° en contact avec la vapeur à 152°. En supposant que 10 centimètres de hauteur seulement se réchauffent et prennent une température moyenne de $90 + \frac{152 - 90}{2} = 121$ soit 31° de différence avec la vapeur.

En supposant que le monte-jus ait 1^m,32 carré de surface, et le jus une densité de 1,04, on aura un poids de jus de $1^m,32 \times 0,10 \times 1,04 = 138$ kilogrammes environ, réclamant $138 \times 31 = 4,278$ calories ou $\frac{4,278}{689 - 121} = 7k,5$ de vapeur répétés 80 fois = 600 kilogrammes de vapeur. Il ne faut pas oublier que la vapeur contenue dans les monte-jus est évacuée dans l'atmosphère, c'est-à-dire est perdue, tandis que la vapeur employée par les pompes sert au chauffage du triple-effet. Que la vapeur condensée dans les monte-jus devra être évaporée ultérieurement par le triple-effet, mais sans tenir compte de ces choses, on voit donc qu'un monte-jus emploie :

Vapeur pour évacuation du liquide . . .	875 kilogrammes
— condensée sur les parois. . . .	455 —
— — dans le jus. . . .	600 —
Total. . . .	1,930 kilogrammes.

Si l'on suppose qu'il faille 25 kilogrammes de vapeur pour représenter

un cheval-vapeur, ceci fait au total 77 chevaux par 24 heures, ou bien seulement, pour évacuer le jus, 35 chevaux, soit par heure, 3,2 chevaux au total, ou 1,5 cheval pour vider le monte-jus.

Telle est la dépense énorme de vapeur nécessitée pour remuer une pareille masse de liquide au moyen d'un monte-jus. Avec une pompe, en supposant qu'on enlève le liquide à 10 mètres, on aura 350.000 litres ou 364.000 kilogrammes de jus à élever à 10 mètres en 24 heures, soit 4k,21 à élever en une seconde à 10 mètres, développant par conséquent 42,1 kilogrammètres ou bien $\frac{73}{42,1} = 0,56$, c'est-à-dire un peu plus d'un demi-cheval de force.

Il y a donc entre un monte-jus et une pompe une énorme différence tout au profit de cette dernière.

§ 2. — Chaudières à carbonater et à décanter.

Quelque mode que l'on emploie pour faire arriver les jus à la carbonatation, ils sont reçus dans des chaudières dans lesquelles ils seront soumis aux diverses opérations de carbonatation et de chauffage décrites précédemment.

La première opération que l'on fait subir au jus est le chaulage sur lequel nous allons revenir bientôt. Contentons-nous, pour le moment, de savoir qu'il est chaulé soit avant d'être reçu dans le bac qui précède la pompe ou le monte-jus, soit dans les chaudières à carbonater, quand il y coule directement.

Les chaudières à carbonater sont généralement munies d'un serpent à grand développement pour opérer le chauffage facile et rapide du jus, d'un tuyau percé de trous à la partie la plus basse de la chaudière, et destiné à laisser passage dans le jus au gaz carbonique ; d'une large ouverture fermée par un tampon ou robinet vers laquelle se dirige en pente le fond de la chaudière pour la vidange complète de celle-ci, d'un système d'*émousseur* à la partie supérieure pour briser les mousses soulevées par la carbonatation et les empêcher de déborder, ou bien d'une rehausse et d'un couvercle muni d'un tuyau large et élevé répondant au même usage. La forme de la chaudière doit être telle que le nettoyage en soit facile et que l'absorption de l'acide carbonique du gaz y soit la plus parfaite possible.

Enfin, à un étage immédiatement inférieur, se trouvaient autrefois des bacs dits à décantation, de même volume, dans lesquels s'écoulait et se reposait le jus carbonaté. Mais ils sont abandonnés aujourd'hui, les jus carbonatés allant directement et totalement aux filtre-presses.

Ces bacs étaient munis intérieurement d'un tuyau flexible garni d'un flotteur pour prendre le jus à la surface et descendre avec le niveau du liquide, tuyau qui débouchait extérieurement par un robinet placé presque en bas et sur le devant du bac ; de plus, il se trouvait dans le fond une vaste ouverture fermée par un tampon ou un robinet, destinée à la vidange totale du bac. Les boues qui s'en écoulaient étaient reçues dans un nouveau bac précédant un monte-jus pour l'usage des filtres-presses. Dans certains cas, on a supprimé le bac à décantation, et laissé le dépôt se faire dans la même chaudière qui a servi à la carbonatation. A cela on gagnait de la main-d'œuvre.

Tout en réunissant ces conditions, les chaudières dites à saturation ou carbonatation ont reçu les formes les plus diverses, et ont subi de véritables transformations depuis quelques années. Ce sont généralement des bacs plus profonds que larges, ronds ou carrés, munis d'un serpentín de vapeur tournant autour de la paroi, en spires superposées ; dans le fond un gros tuyau en tôle percé de trous à la partie inférieure, disposé en croix ou en carré et remontant sur le devant verticalement, présente à la main de l'ouvrier un gros robinet de fonte ou une vanne métallique, et est boulonné sur un gros tuyau horizontal, desservant d'acide carbonique toutes les chaudières rangées en ligne. La surface totale des trous du tuyau, est égale à la section la plus petite du tuyau amenant le gaz. Le gros robinet de fonte dans toute sa simplicité répond parfaitement au besoin ; mais le boisseau doit en être bien rôdé, sinon il arrive des fuites autour du robinet, fuites qui ont pour résultat immédiat l'asphyxie partielle des ouvriers ; on peut lui substituer un régulateur à coulisse qui fonctionne très bien.

Walkoff a décrit une chaudière à carbonater de forme plus rationnelle que celle dont nous venons de parler. C'est une cuve peu large, longue et profonde, à fond arrondi ; le tuyau à gaz est unique dans toute la longueur de la chaudière et près du fond. Cette disposition est très bonne, attendu que le gaz carbonique a une plus grande hauteur de liquide sur laquelle il agit, et se trouve dans de meilleures conditions pour être absorbé. Nous en avons eu de semblables sous notre direction, ayant 3 mètres de profondeur, 1 mètre de large, 2^m,50 de longueur. Elles étaient couvertes, et la rehausse était de 1 mètre, ce qui ne leur donnait qu'une capacité utile de 4.700 litres environ. Il y avait un serpentín de vapeur de chaque côté avec robinet distinct, et le tuyau de gaz carbonique courait près du fond arrondi et présentait une inclinaison jusque sur le devant de la chaudière. Sous ce fond, à la partie la plus basse, était boulonné un gros robinet de fonte pour la vidange des boues qui coulaient par une nochière dans le bac du monte-jus des

filtres-presses. Il n'y a pas de bac de décantation ; la chaudière était munie d'un tuyau en cuivre terminé inférieurement par une partie flexible en toile caoutchoutée, et en haut munie d'un flotteur cylindrique en cuivre étamé se rattachant sur le devant de la chaudière dans le centre de la partie circulaire de la base, par un gros robinet de bronze extérieur ; ce robinet laissait couler les jus clairs également dans une nochière placée plus haut que celle aux écumes. D'un plancher disposé à cet effet un seul ouvrier pouvait manœuvrer très commodément la double robinetterie des onze chaudières placées en rang, et ne présentant pas un grand développement eu égard à la quantité de travail qu'elles fournissaient. La disposition était heureuse et bien comprise, en même temps qu'elle fournissait un travail rationnel.

Aujourd'hui toutes les chaudières à carbonater sont construites en s'inspirant de ces principes : grande hauteur de jus pour le barbotage de l'acide carbonique, afin de le mieux utiliser ; grande hauteur au-dessus du jus pour le développement des mousses et leur abatage spontané.

Ces caisses sont quadrangulaires ou rondes, munies de robinets à l'avant pour la prise d'épreuve et pour régler le niveau d'emplissage. Le robinet d'admission de gaz est une soupape ordinaire métallique ou une vanne, et la vidange se fait au moyen d'un tampon ou d'une vanne actionnés par un volant placé sur le devant de la chaudière le fond étant en pente du côté de la vidange. Un thermomètre à mercure à longue tige ou un thalpotasimètre indique la température du jus. Le chauffage se fait soit au moyen de serpentins intérieurs, soit au moyen de réchauffeurs séparés, de telle sorte que le jus arrive dans la chaudière à la température voulue. Dans ce dernier cas, il n'y a pas de serpentins dans la chaudière. Un trou d'homme permet d'entrer dans la chaudière pour les nettoyages. Ces appareils sont fermés à la partie supérieure par un couvercle plat ou en forme de pyramide, surmonté d'un gros tuyau pour l'échappement des gaz sur le toit. Ces chaudières sont dessinées dans les planches à la fin de cet ouvrage.

Le gaz carbonique s'échappe ordinairement dans la chaudière par un système de tuyaux en étoile installé dans le fond de la caisse. Le tuyau principal se termine par une tête de mort sur laquelle se fixe par une simple goupille chacune des branches percées de trous à la partie inférieure. Mais la sortie de ces fragments de tuyaux, déjà fort lourds dans les grandes chaudières, est pénible et emploie beaucoup de temps. Aussi certains constructeurs ont-ils remplacé cette disposition par une autre beaucoup plus pratique. Le gaz se distribue par une série de tuyaux parallèles placés en jeu d'orgue dans le fond de la caisse, et dont l'ex-

trémité ouverte débouche dans une boîte en fonte placée extérieurement et en avant de la chaudière. Un couvercle formant la paroi verticale extérieure de cette boîte peut s'enlever et permet de sortir les tuyaux sans avoir besoin d'entrer dans la chaudière. Cette disposition est excellente, donne le moyen de changer rapidement les distributeurs de gaz sans aucune crainte d'asphyxie pour les ouvriers ; elle est donc absolument recommandable.

Emoussage. — Pendant la carbonatation, le jus, soulevé par l'acide carbonique et chauffé, mousse considérablement, et déborderait si l'on n'y portait remède. Pour abattre cette mousse, le moyen le plus anciennement connu est l'emploi de la graisse fondue ou de l'huile que l'on étend à la surface au moyen d'un mouveron. Les bulles glissant alors les unes sur les autres, ne peuvent monter, et le niveau du liquide reste stationnaire. Ce moyen demande un grand nombre d'ouvriers attentifs, et est très fatigant pour les hommes. Aussi a-t-on cherché à le remplacer par des procédés mécaniques.

On s'est longtemps servi et l'on se sert encore de l'*émousseur Evrard*. C'est l'ensemble de deux tuyaux parallèles de petit diamètre placés dans la longueur et de chaque côté de la chaudière un peu au-dessus du liquide ; ils sont percés de petits trous également espacés sur les deux génératrices qui sont en regard l'une de l'autre. On fait arriver la vapeur à haute pression dans ces tuyaux ; elle s'échappe par les petits trous et fait un voile sur la chaudière, frappant et brisant la mousse qui se trouve sur son trajet. L'*émousseur Evrard* remplit parfaitement le but proposé, mais il consomme beaucoup de vapeur et constitue pour l'usine une grosse dépense de combustible.

On a modifié l'*émousseur Evrard* en employant la force de propulsion que possède la vapeur en sortant par les trous latéraux d'un tube pour procurer à ce tube, suspendu sur un pivot dans son axe, un mouvement giratoire assez rapide. C'est alors le tube lui-même en même temps que la vapeur qui frappe la mousse. Nous ne croyons pas qu'il y ait là une amélioration au premier appareil, car la force de percussion de la vapeur sur la mousse dans le premier cas se décompose en deux forces dans le second, force de percussion contre la mousse et de propulsion pour l'appareil, en sorte que dans ce cas on a une résistance de plus à vaincre, celle des pivots, qui est entièrement perdue pour l'effet utile.

L'*émoussage* des chaudières étant une action entièrement mécanique, on y arrive très bien au moyen d'appareils moins dispendieux que ceux que nous venons de citer. Le plus simple est de munir la chau-

dière d'une rehausse comme nous venons de l'expliquer, pour permettre le développement de la mousse, et d'un couvercle plat ou conique sur lequel on place un vaste tuyau débouchant en dehors de la fabrique. Les mousses se brisent contre le couvercle, le surplus s'élève dans le tuyau, mais ne monte pas bien haut.

Cette disposition a l'avantage de chasser hors de la fabrique l'excès de gaz carbonique, de ne pas employer de vapeur, d'être très propre et de ne pas demander grande dépense d'installation. On prend la preuve du jus au moyen d'un robinet placé au-dessous du niveau normal du liquide. Cependant les ouvriers aiment peu ce système, parce que le nettoyage devient pénible dans les chaudières, à cause de la grande chaleur qui s'y conserve, même longtemps après avoir été vidées. Il faut donc avoir soin de disposer les choses de telle sorte que les cheminées fassent un appel d'air suffisant pour que les ouvriers ne soient pas à l'intérieur dans une atmosphère insupportable. Pour cela, il suffit généralement de donner aux cheminées une hauteur suffisante, et de placer le trou d'homme au niveau du plancher.

On fait usage, aussi avec succès comme émousseurs, de machines fort simples consistant par exemple en un axe horizontal, animé d'un mouvement de rotation et placé en travers des chaudières. Il porte des bras nombreux, disposés en hélice sur l'arbre, et qui battent la mousse. Ces bras ont une courbure telle qu'ils entrent dans le jus et en sortent sans projection. Maints autres moyens ont été proposés, injection d'air, de gaz carbonique, de jus même dans des émousseurs genre Evrard ou autres. Les plus simples sont les meilleurs, en commençant par ceux qui occasionnent le moins de dépense.

Dans le cas où l'on emploie des chaudières sans couvercle, on doit les placer sous une hotte avec un tuyau débouchant au dehors pour laisser échapper les gaz et les vapeurs.

Pour terminer ce qu'il nous reste à dire sur les chaudières à carbonater, nous ajouterons que l'on a employé aussi en Allemagne des chaudières complètement closes à double étage pour l'utilisation parfaite du gaz carbonique; on les appelle saturateurs Reeberger. On semble être revenu de cette disposition.

Carbonatation continue. — On a cherché depuis longtemps à rendre continu le travail de la carbonatation. On n'est arrivé qu'à des résultats partiels parce que les usines ne sont pas outillées pour ce travail. Les outils ne manquent pas, c'est l'agencement général des usines qui ne se prête pas à ce travail.

Comme exemple, nous allons décrire notre propre appareil.

Le *carbonateur continu* de Horsin-Déon (fig. 53) a la forme d'un filtre-pressé. Il a dix plateaux mobiles sans compter le plateau fixe de tête et le plateau de serrage.

Le plateau de tête porte le robinet pour l'admission du gaz carbonique, le robinet pour l'admission de vapeur de chauffage, celui d'admission de jus chaulé et la sortie des eaux condensées. Les gaz ayant passé dans l'appareil s'échappent par un vase de sûreté placé également sur le plateau fixe, tandis que les jus carbonatés s'écoulent par un déversoir placé sur le côté et au bas du dernier plateau.

Chacun des plateaux mobiles porte à l'intérieur une tôle laissant seu-

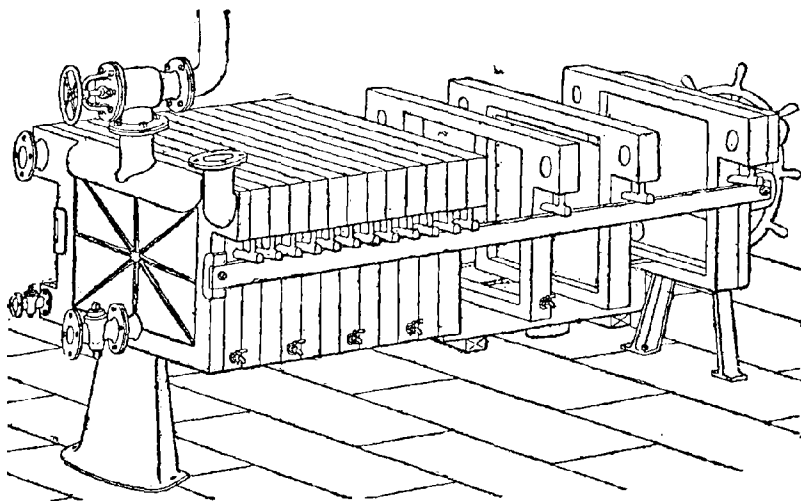


Fig. 53.

lement une ouverture horizontale sur toute la longueur du plateau ; ces ouvertures sont placées alternativement en haut et en bas des plateaux, faisant ainsi chicane, de telle sorte que le jus lancé dans l'appareil suit un mouvement de lacet montant et redescendant jusqu'à la sortie. Enfin les tôles sont fixées dans les plateaux de telle manière qu'elles forment une série de chambres alternativement étroites et larges, les chambres étroites recevant le jus par le haut.

Ceci donné, voilà ce qui se passe :

Lorsque le gaz est envoyé dans l'appareil, le jus chaulé circule dans le même sens que lui, allant du plateau fixe au plateau de serrage. Dans les chambres étroites l'espace est calculé de manière à ce qu'il n'y ait de place que pour le gaz, en sorte que le jus y est chassé en avant par ce dernier. Mais comme la chambre suivante est plus large et que le gaz y arrive par le bas, le jus remonte lentement et le gaz y barbote

exactement comme dans les boules de Liebig usitées dans les laboratoires où les gaz sont absorbés par barbotage. Cet appareil est donc une grande boule de Liebig industrielle où l'on peut faire toutes les opérations auxquelles sont destinés ces appareils, aussi bien la carbonatation des jus sucrés que celles des potasses, etc.

Comme en sucrerie on a besoin de chauffer les jus pendant la carbonatation, un ou plusieurs cadres, au commencement ou à la fin, portent des serpentins en forme de grille pour la vapeur.

L'avantage de cette disposition est celle-ci :

Le gaz et le jus chaulé suivant la même direction s'épuisent ensemble, l'un en chaux l'autre en acide carbonique, en sorte qu'à la fin de l'appareil on a du jus pauvre en chaux et du gaz pauvre en acide carbonique.

La fin de l'opération est donc lente et l'on est maître ainsi de son point de carbonatation, même si de légers changements se manifestent dans la teneur du gaz. Si, au contraire, comme on l'a souvent essayé, le gaz riche vient en contact du jus pauvre en chaux, on n'est jamais sûr du point d'arrêt dans la carbonatation. C'est ce qui a fait rejeter jusqu'à présent les appareils de carbonatation continue.

L'appareil que nous décrivons a travaillé environ 1.800 hectolitres de jus chaulé à 11 % de lait de chaux de 20° B. par 24 heures avec du gaz à 16 % et il fera d'autant plus de travail que l'usine où il sera établi possèdera un gaz plus riche. En pratique il a travaillé les jus quatre fois plus vite que par les chaudières ouvertes marchant parallèlement avec lui. En effet, il a 4 barbotages de 60 centimètres, correspondant par conséquent à 2^m,40 de hauteur de jus, tandis que les chaudières ouvertes n'ont pas plus de 60 centimètres à 1 mètre de liquide en travail. De plus, les mousses ne gênent pas, puisqu'elles sont carbonatées en même temps que les jus ; on arrive avec cet appareil à régler assez le point final de carbonatation pour que, dans les essais qui ont été faits, le degré calcique qui devait être de 100° n'ait varié que de 90 à 110°.

Le jus au sortir de l'appareil est prêt à passer aux filtres-presses.

La carbonatation continue avec de tels appareils, demande plusieurs conditions qu'il faut remplir si l'on veut avoir un bon travail.

En tant que continue, la carbonation réclame un travail régulier. Or cette régularité provient de quatre causes : charge de liquide constante sur l'appareil, chaulage constant du liquide, pression constante de la pompe à gaz, richesse constante du gaz. La charge constante du liquide est facile à obtenir, au moyen d'un flotteur dans le bac en charge. Le chaulage constant comme quantité de chaux à carbonater est la conséquence d'un bon travail, cette quantité de chaux ne devant varier qu'avec un changement dans la qualité de la betterave.

La pression constante de la pompe à gaz peut être obtenue soit au moyen d'un gazomètre interposé entre la pompe et l'appareil, soit au moyen d'une soupape équilibrée perdant sur le toit le gaz en excès.

Seule la richesse constante du gaz est difficile à obtenir; mais en pratique on réalise une richesse *relativement* constante et nous avons observé que les variations d'un four bien conduit influent peu sur le point de carbonatation.

Ces quatre points sont faciles à obtenir, mais ne se rencontrent pas réunis dans nos fabriques; c'est pourquoi les essais de carbonatation continue n'ont pas donné les résultats qu'on était en droit d'en attendre.

Dans un montage ayant pour but de réaliser ces conditions, muni des appareils nécessaires, la carbonatation continue réussira très bien, et résoudra l'un des desiderata de la fabrication.

La carbonatation continue prend peu de place, est rapide, donne au jus moins d'occasion de se trouver au contact de l'air, *il traîne moins*; toutes ces conditions sont excellentes pour le travail, et se recommandent à l'attention des fabricants.

On a proposé d'employer la carbonatation continue comme travail préparatoire qui se terminerait dans une chaudière de carbonatation ordinaire. C'est encore une des solutions du problème de moindre encombrement des usines; quoique ce soit un moyen bâtarde, il amènerait vite la suppression totale de la chaudière ordinaire qu'on voudrait lui adjoindre.

Des autres appareils de carbonatation continue qui ont été essayés, nous ne citerons que l'*appareil Reboux* formé d'un long tuyau sectionné en parties reliées par des coudes mobiles, de manière à diminuer l'encombrement. Le jus et le gaz carbonique parcourant ensemble le tuyau, au bout duquel la carbonatation est terminée. Ainsi constituée la carbonatation Reboux à la forme d'un \approx couché, le jus entrant par en bas et sortant par en haut. Le gaz suit la même direction.

Parlons enfin d'un système de carbonatation continue, tout à fait original, dû à *Camuset*, directeur de la sucrerie d'Escaudœuvres. Le jus chaulé est introduit sous la forme de brouillard, par des pulvérisateurs, dans une chambre close où se renouvelle une atmosphère d'acide carbonique. La carbonatation de ce brouillard est instantanée. En réglant l'admission du gaz dans la chambre on arrête la carbonatation au point désiré, qui est un peu au-dessus du point final. Ce point final est obtenu dans l'appareil même par le barbotage du jus dans un tuyau avec le gaz carbonique, au moyen d'un agitateur. En faisant varier les éléments du travail, on arrive exactement au point de carbonatation voulu.

D'autres essais ont été tentés, mais jusqu'à présent aucun de ceux-là n'a survécu encore. Seulement il est à penser qu'avant quelques années la carbonatation continue sera devenue courante en sucrerie, car les essais faits prouvent qu'il y a de réels avantages à l'employer.

Chaudières de deuxième carbonatation. — Les jus clairs de première carbonatation sont expédiés par une pompe aux chaudières de seconde carbonatation, en tout semblables aux premières.

Cependant comme la seconde carbonatation mousse moins que la première, lorsque l'on fait usage de chaudières très hautes, on peut supprimer les é mouisseurs.

Pour la *troisième carbonatation* on emploie des chaudières identiques à celles qui servent à la seconde.

DÉCANTATION

Après la carbonatation, les jus qui ont acquis la propriété de laisser déposer facilement leur carbonate et autres impuretés étaient abandonnés à eux-mêmes quelques instants, d'un quart d'heure à une demi-heure, suivant la disposition des usines, soit dans le bac à carbonatation, soit dans un autre bac placé à un étage inférieur, et dans lequel la chaudière à carbonater se décharge facilement et promptement par un large robinet ou tampon. Les boues s'accumulent dans le fond, on décantait le jus clair, et le plus souvent cette décantation se faisait au moyen d'un robinet muni intérieurement à la chaudière, d'un tube flexible ou à charnière surmonté d'un flotteur qui maintenait à la surface du liquide l'extrémité béante de ce tube. De la sorte, en ouvrant le robinet, on ne laissait couler que la partie supérieure et limpide du liquide. Aussitôt que le flotteur vient à toucher les parties troubles, le jus coule trouble dans le robinet. On ferme alors le robinet et on ouvre à la partie inférieure du bac dont le fond est, à cet effet, légèrement en pente, un large robinet ou tampon par lequel se précipitent les boues. Ces boues étaient recueillies au moyen d'une gouttière qui desservait tous les bacs dans un récipient communiquant avec deux monte-jus dont l'un était toujours en pression et l'autre s'emplissait pour entrer en pression à son tour, aussitôt que le premier était vide. De la sorte, il n'y avait pas d'interruption.

Les boues de carbonatation étaient alors dirigées par des monte-jus dans les filtres-presses.

Aujourd'hui on a supprimé complètement partout les décanteurs qui ont l'inconvénient de refroidir les jus et de les altérer par le long séjour

qu'ils y passent, altération qui est restée longtemps inaperçue mais qui est bien constatée. Aujourd'hui les jus sortant des chaudières de carbonatation sont reçus dans un bac mélangeur d'où les reprennent les *pompes à écume* qui les refoulent directement aux filtres-presses.

Beaudet a publié, en 1896, les résultats de quelques expériences qu'il a faites sur les jus décantés, pour rechercher les altérations qui s'y produisent pendant cette période.

Il a pris trois échantillons de jus de première carbonatation. Dans le bac de carbonatation même, l'alcalinité du jus était, après filtration au laboratoire, de 134 grammes par hectolitre. On a coulé ce jus dans un décanteur et pris des échantillons 2 h. 1/2 après dans la partie claire ; l'alcalinité du jus était de 122 grammes. Dans la partie trouble, une demi-heure plus tard, 130 grammes. Ces trois jus ont été carbonatés à part ; ils contenaient, après travail identique et filtration, 18 grammes de chaux par hectolitre dans le jus primitif, 24 grammes dans le jus clair, 25 grammes dans le jus louche. On voit que les sels de chaux ont augmenté en même temps que l'alcalinité avait diminué. Une autre expérience, dans laquelle on a laissé les jus décanter pendant 36 heures, a donné les mêmes résultats beaucoup plus nets, et dès lors bien plus concluants.

D'où l'on peut tirer cette conclusion que la décantation est une cause très nette de formation de sels de chaux, et qu'aussitôt qu'une chaudière est faite, il faut incontinent la passer aux filtres-presses. C'est donc une erreur profonde de faire des chaudières d'avance, d'emplir l'usine sous prétexte de ne pas arrêter le travail. Les chaudières qui attendent en présence de leurs écumes sont des chaudières contaminées. Ce que l'on gagne en temps, soi-disant, à remplir les chaudières, on le perd en rendement. C'est une vérité que les fabricants ne devraient pas ignorer. Et en effet, tout le monde sait qu'une fabrication qui va rondement va bien ; que lorsque les jus languissent tout va mal. En voilà la raison.

Nous verrons plus loin, à propos des filtres mécaniques, les expériences de Mittelman qui concluent exactement dans le même sens, les sirops au contact des boues des filtres subissant une altération absolument semblable.

§ 3. — Méthodes diverses de chaulage

On peut employer la chaux de différentes manières. Soit à l'état de lait de chaux soit à l'état de pâte de chaux plus ou moins hydratée, ou bien de chaux éteinte pulvérulente, ou enfin de chaux anhydre en morceaux ou en farine.

Les deux méthodes les plus facilement applicables et les plus usitées, sont l'emploi du lait de chaux et de la chaux anhydre en morceaux. Les autres ont eu leurs adeptes et leurs défenseurs mais sont généralement abandonnées.

En effet, la chaux pulvérulente, soit éteinte, soit anhydre, est d'un maniement pénible pour les ouvriers qui sont obligés de se mettre un bandeau sur la bouche et sur le nez pour ne pas respirer cette fine poussière. La chaux anhydre en farine n'est employée que pour le travail des mélasses par le procédé Steffen.

La chaux éteinte additionnée d'eau pour en faire une pâte solide qui se met en grains analogue à du sable, n'a pas le même inconvénient. Son emploi a été préconisé par Bouvier, directeur de la sucrerie de Montereau et par son chimiste Mittelmann. L'avantage de ce procédé était d'introduire très peu d'eau dans les jus, cette pâte de chaux se délayant très facilement et se dissolvant rapidement dans les liquides sucrés. Sous ce rapport le système Bouvier et Mittelmann méritait un succès plus grand qu'il n'a eu, car le maniement de la chaux dans ces conditions, aussi bien que son dosage est extrêmement facile.

Mais le lait de chaux l'emporte parce qu'il circule facilement d'un point à un autre de l'usine par des tuyaux, tout à fait mécaniquement. Quant à la chaux en morceaux, elle est aussi maniable que la pâte Bouvier-Mittelmann et demande une main-d'œuvre de moins, son extinction. On la transporte directement du four au bac-à-jus-extincteur, et pour peu que l'on ait mis ceux-ci près du four à chaux, on a l'avantage de ne pas mettre d'eau dans le jus et de pouvoir conduire le jus chaulé par des tuyaux et des pompes jusqu'à la carbonatation. Par conséquent il ne reste donc réellement industrielles que ces deux méthodes, lait de chaux, et chaux anhydre en morceaux.

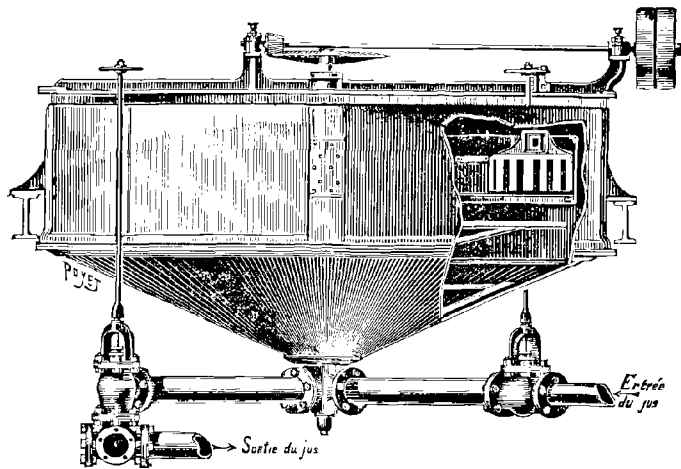
Nous nous occuperons tout à l'heure du lait de chaux et de sa préparation dans un chapitre spécial.

L'emploi de la chaux anhydre en morceaux ne s'est vulgarisé que depuis qu'un appareil spécial a été inventé à son usage, c'est le *chauteur König* (fig. 54).

Lorsque l'on met un morceau de chaux vive dans du jus, la chaux s'éteint aux dépens de l'eau du jus, la température s'élève et le jus est brûlé, noirci par la décomposition des matières organiques, l'inversion du sucre et l'altération des glucoses.

Si donc on veut mettre de la chaux vive dans du jus, il faut donner à cette chaux un mouvement continu et rapide, et en présence d'une quantité de jus suffisante pour la noyer et empêcher que la température ne s'élève au point suffisant pour la décomposition du liquide.

C'est le résultat qu'on obtient dans le chaaleur Kœnig. En effet c'est une chaudière composée d'une partie cylindrique se terminant en dessous par une partie conique. Dans l'axe de cette chaudière est un arbre vertical mis en mouvement par un système d'engrenage. L'arbre porte à la hauteur de la partie cylindrique de la chaudière un grand plateau en tôle perforée suffisamment armé, du diamètre même de la chaudière, et qui tourne avec lui. Ce plateau à sa périphérie se relève en forme de nochère circulaire dont le fond est garni d'une toile métallique. En deux points opposés, sur un diamètre, des bras mobiles en forme de râteaux pouvant se relever par un mécanisme trainent dans la nochère. L'axe entraîne en outre au-dessus du plateau des bras mélangeurs. Enfin la



D. A. L.

Fig. 54.

chaudière est fermée par un couvercle muni d'une large porte placée au-dessus de la nochère tournante.

L'appareil ainsi disposé est rempli de jus chauffé à 80° jusqu'au niveau du plateau tournant. Le jus est envoyé par un gros robinet placé en-dessous. Quand on en est là, on verse dans la nochère en marche la quantité de chaux correspondant au volume de la chaudière, en ayant soin de répartir la chaux aussi régulièrement que possible sur le fond perforé. Les bras mobiles aident à cette répartition en les abaissant partiellement.

A ce moment on ouvre le robinet de jus. Celui-ci monte rapidement, mouille la chaux qui s'éteint progressivement, et l'on arrête l'arrivée du jus quand la chaux est bien recouverte de jus. A ce moment on abaisse encore les bras mobiles qui râclent la chaux, la déplace, la mélange au

jus et bientôt la chaux se dissout et disparaît, et il ne reste plus dans la nochière que les cailloux et les incuits. La fonte de la chaux dure un quart d'heure à vingt minutes, et la chaleur dégagée fait monter de 3° environ la température du jus. On vide alors le chauffe dans les chaudières de carbonatation.

Les partisans de la chaux anhydre prétendent que la défécation est ainsi plus efficace qu'avec le lait de chaux. Ce fait n'aurait rien d'étonnant, les calories développées par l'extinction pouvant concourir à une combinaison plus efficace avec les matières organiques. Quoiqu'il en soit nous avons vu plusieurs installations de ce système et les directeurs en sont très satisfaits.

§ 4. — Titrage du lait de chaux

On compte en général, pour le titrage du lait de chaux, que 1° Baumé correspond approximativement à 10 grammes de chaux au litre.

Ainsi un lait pesant 22° contiendrait $22 \times 10 = 220$ grammes de chaux par litre.

Ce chiffre n'est pas exact, mais c'est une première indication. On a cherché à former des tables exactes, comme celle que nous donnons plus loin. Mais ces tables ne valent rien non plus, attendu que les calcaires et la chaux diffèrent essentiellement, et que la présence de l'argile, par exemple, fausse complètement les indications aréométriques. Comme il n'est pas de travail sérieux sans que la main du chimiste y ait passé, le fabricant devra faire analyser son lait de chaux normal pour savoir ce qu'il tient de chaux (CaO) et conduire son travail sur ces données.

Nous donnons ci-après la description d'un appareil très utile pour doser la quantité de lait de chaux que l'on doit introduire dans un jus, suivant la densité industrielle du lait de chaux, toujours variable quelque soin que l'on prenne pour lui conserver son degré normal.

Balance automatique Cerny-Stolc pour lait de chaux. — Lorsque l'on chauffe un jus, on mesure une certaine quantité de lait de chaux déterminée d'avance, que l'on introduit dans ce jus. On donne l'ordre à l'ouvrier de tenir son lait de chaux à une densité fixe, on la vérifie de temps en temps, mais on n'est jamais certain que, entre le mélangeur et le bac mesureur, le lait ait exactement la densité voulue. Quand on vide un bac et qu'on en commence un autre, il y a parfois de grosses différences qui se traduisent par trop ou pas assez de chaux dans le jus, d'où mauvais travail.

La balance automatique Cerny-Stolc sert de bac mesureur ; mais elle ne mesure pas la quantité en volume, elle donne le poids de lait de chaux correspondant à la densité déterminée d'avance. Ainsi si l'on veut mettre 10 litres de lait de chaux à 20 Baumé qui pèsent 11 k.62, si le lait de chaux marque momentanément 10 Baumé (densité 1,142) la balance fournira 11 lit. 381 qui contiendront la même quantité de chaux que celle contenue dans les 10 litres présumés.

La balance automatique (fig. 55) se compose d'un bac rectangulaire divisé en deux compartiments A et B par une cloison *a*. Sur le bord supérieur du bac est fixé un support sur lequel repose le fléau d'une balance *c* portant d'un côté un contrepoids X et de l'autre deux plongeurs D et E de forme différente, descendant respectivement dans les deux compartiments A et B. La cloison médiane *a* porte à l'une de ses extrémités une vanne verticale *b* manœuvrée par une vis et un volant.

Le lait de chaux arrive dans le compartiment A, le remplit et déborde par-dessus la vanne. En réglant la hauteur de la vanne on règle donc

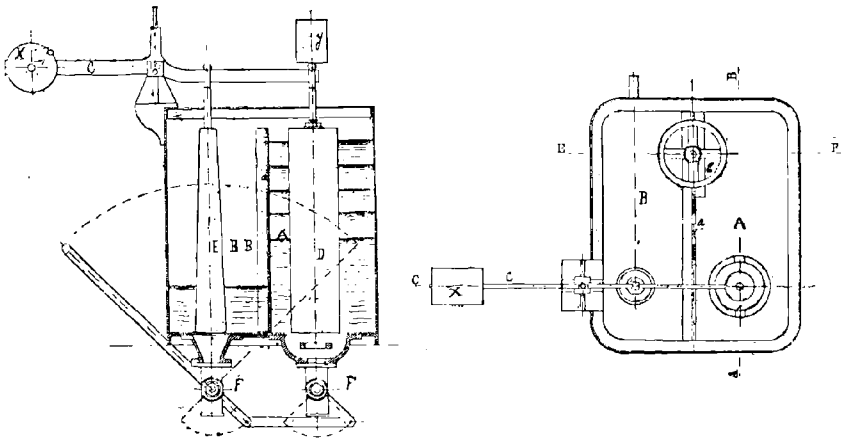


Fig. 55.

le niveau du lait de chaux dans le compartiment A, qui est le véritable bac jaugeur de l'appareil, le compartiment B ne recevant que l'excédent de lait en cas de densité trop faible. Les deux compartiments A et B se vident chacun par un robinet. Mais ces deux robinets F F sont manœuvrés par un levier unique.

Ajoutons que la chape du plongeur D est arrangée de telle sorte qu'on puisse y fixer un poids supplémentaire *y*, au-dessus du fléau.

Le compartiment A étant vide, le poids des plongeurs et de la charge *y* l'emporte sur le poids X. La balance ne se met en équilibre que lorsque le compartiment A contient du lait de chaux à 22° Baumé jusqu'à dé-

versement de la vanne. Si le lait de chaux a moins de 22° la poussée sur le plongeur D est insuffisante pour établir l'équilibre. Alors on laisse déborder dans le compartiment B où le niveau s'élève jusqu'à ce que la poussée sur le flotteur E s'ajoutant à celle exercée sur D rétablisse l'équilibre. On ferme alors l'arrivée de la chaux et on vide les deux compartiments ensemble par les robinets FF.

Le poids y est calculé d'après la hauteur de la vanne avec du lait de chaux à 22° Baumé. On le modifie suivant les quantités de lait de chaux que l'on veut tirer, c'est-à-dire suivant la hauteur à laquelle on soulève la vanne.

Belmont a donné la théorie intéressante de cet appareil (1). Il fait remarquer que la forme que l'on doit donner au flotteur E est un hyperboloïde de révolution dont il institue la formule de l'arête. En effet, en appelant δ la densité du lait de chaux à 22° pris comme point de départ, et δ_0 la densité d'un lait de chaux plus faible, φ étant la quantité de liquide qui coule dans le compartiment B pour parfaire la poussée sur le bras du levier, il trouve $\delta = \frac{\delta_0 - \delta}{\delta - 1}$ qui représente une hyperbole ayant pour asymptote la parallèle à l'axe des φ au point $\delta = 1$. Cette formule a été tirée du tableau ci-après qui est de Blatner.

On voit que pour chaque valeur de φ correspond une hyperbole différente. Mais si l'on fait le tracé de la courbe on trouve que ces branches d'hyperbole sont extrêmement rapprochées l'une de l'autre, et qu'il suffit de prendre comme tracé celui de l'hyperbole correspondant à $\delta = 1,180$ c'est-à-dire 22° Baumé.

De plus cette branche d'hyperbole est tellement rapprochée d'une ligne droite, que, dans la pratique, il suffit de déterminer les deux points extrêmes de l'hyperbole correspondant à φ très petit, et φ égal à la capacité du compartiment B, et à joindre ces deux points par une ligne droite.

Le plongeur E aura donc une forme tronconique, la grande base près du fond.

Cet appareil très intéressant comble une lacune dans l'emploi du lait de chaux en sucrerie. On le règle une fois pour toutes sur la densité du lait de chaux qui paraît la meilleure au chef de fabrication, et l'on n'a plus à s'inquiéter des variations de sa composition, pourvu que l'on se base toujours sur la même densité. Seulement si l'on varie la proportion de chaux à ajouter au jus, il faudra faire varier aussi le poids y correspondant à la hauteur à laquelle on lève la vanne, poids préparés et calculés d'avance.

1. *L'Alcool et le Sucre*, avril 1895.

Table de la quantité de chaux contenue dans le lait de chaux.

DEGRÉ BAUMÉ	POIDS D'UN LITRE de lait de chaux	CHAUX (CaO) dans un litre	CHAUX (CaO) dans 100 grammes de lait de chaux
1	1,007	7,5	0,745
2	1,014	16,5	1,64
3	1,022	26	2,54
4	1,029	36	3,50
5	1,037	46	4,43
6	1,045	56	5,36
7	1,052	65	6,18
8	1,060	75	7,08
9	1,067	84	7,87
10	1,075	94	8,74
11	1,083	104	9,60
12	1,091	115	10,54
13	1,100	126	11,45
14	1,108	137	12,35
15	1,116	148	13,26
16	1,125	159	14,13
17	1,134	170	15,00
18	1,142	181	15,85
19	1,152	193	16,75
20	1,162	206	17,72
21	1,171	218	18,61
22	1,180	229	19,40
23	1,190	242	20,34
24	1,200	255	21,25
25	1,210	268	22,15
26	1,220	281	23,03
27	1,231	295	23,96
28	1,241	309	24,90
29	1,252	324	25,87
30	1,263	339	26,84

Contrôleur automatique de la quantité de lait de chaux, Horsin-Déon

(fig. 56). — De quelque manière que l'on prépare le lait de chaux, il faut en mettre dans la chaudière de carbonatation une quantité exacte, réglée d'avance par le chef de fabrication. Nous avons construit de petits contrôleurs automatiques pour cet usage, basés sur les mêmes principes que nos contrôleurs de jus de diffusion. Un flotteur mis dans le bac à lait de chaux, au-dessus de la carbonatation,

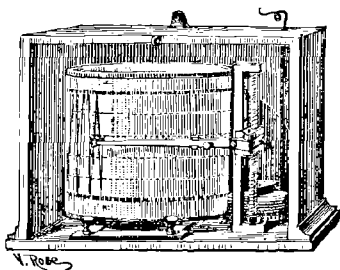


Fig. 56.

fait agir un crayon sur une feuille de papier enroulée autour d'un tambour mû par un mouvement d'horlogerie. On a donc sur cette feuille l'inscription de l'heure où l'on a déchargé le bac à lait de chaux et de la quantité qu'on y a mise. On a ainsi en même temps un contrôle de la quantité de chaudières que l'on a faites.

§ 5. — Titrage de l'alcalinité.

Lorsque le bac est plein de jus chaulé, on opère la carbonatation comme nous l'avons dit dans la première partie ; pour s'assurer de la fin de la première carbonatation, l'aspect du dépôt n'est pas suffisant, car rien n'indique à cet aspect si la dose de gaz carbonique n'est pas dépassée depuis longtemps, tandis que si quelque procédé chimique rapide annonçait l'approche de la fin de l'opération, l'ouvrier serait bien plus à même de ne pas la compromettre.

Plusieurs procédés sont employés à cet effet.

Celui préconisé autrefois par Possoz, consistait à employer une liqueur de fer que l'on verse dans un volume déterminé de jus, et à constater au moyen du prussiate de potasse si tout le fer est précipité ou non. La première solution est du protochlorure de fer, la seconde est une solution de 5 grammes de prussiate de potasse formant un litre de liquide. Cette solution s'altère vite ; Possoz la rendait inaltérable en y ajoutant un peu d'oxalate de soude et de soude caustique. La première liqueur ferrique est ajoutée de telle sorte que 1 volume de jus contenant 1/1000 de chaux précipite complètement tout le fer contenu dans un volume de liqueur de fer ; de telle sorte qu'à la première carbonatation où l'on doit laisser 2/1000 de chaux, il faut deux volumes de liqueur ferrique par volume de jus. L'opération se fait alors ainsi : l'ouvrier, avec un demi-décilitre en étain muni d'un manche, tire de la chaudière ce volume de jus qu'il met dans un verre. Il ajoute dans ce verre deux demi-décilitres de liqueur d'épreuve ferrométrique, et mélange. Alors il prend une goutte du mélange qu'il dépose sur un papier, à côté sur le même papier, il dépose une goutte de liqueur de prussiate, puis en pliant le papier, il mélange les deux gouttes. S'il reste encore du fer, c'est-à-dire si la carbonatation est poussée trop loin, le mélange donne une coloration bleu de Prusse. S'il y a encore trop de chaux au contraire, le mélange reste incolore. Pour arrêter la carbonatation, il faut que les deux gouttes donnent une très légère coloration bleuâtre. Cet essai se fait très vite, même avec très peu d'habitude.

Maintenant on emploie la méthode des liqueurs titrées. On prépare une solution d'un acide quelconque, telle que chaque volume corresponde à 1/1000 de chaux ; puis, prenant un volume de jus chaulé, on le filtre, s'il n'est pas clair, on le colore en bleu par le tournesol, par exemple, et on ajoute à ce jus 1, puis 2, puis 3 volumes de liqueur acide, jusqu'à ce que le tournesol devienne rouge ; on en conclura qu'il reste 1, 2 ou 3 millièmes de chaux. On peut à cet effet employer la liqueur

titrée suivante. On mesure 9,5 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré (à 66°), on les ajoute à 10 litres d'eau et l'on agite. Prenant alors dans un verre un demi-décilitre de jus, et quelques gouttes de teinture de tournesol, chaque demi-décilitre de liqueur titrée ajouté au jus, pour arriver au bleuissement de la liqueur, donnera avec la précision suffisante pour ce genre de travail la quantité de millièmes de chaux contenus dans ce jus. Pour simplifier l'opération, on peut mettre directement le tournesol dans l'acide qui devient rouge. Cette teinture bleuit en tombant avec l'acide dans le liquide à excès de chaux ; sitôt que la chaux est saturée, la liqueur tout entière devient rouge. La marche de l'opération est d'ailleurs la même.

Autrefois, pour faire ces dosages nous employions le moyen suivant. On prenait une éprouvette verticale à pied de 56 millimètres environ de diamètre intérieur, munie à sa partie inférieure d'un robinet en étain. Cette éprouvette portait une graduation gravée ou peinte sur le verre, et telle qu'entre chaque trait distant de deux centimètres environ, il y avait une capacité d'un demi-décilitre. L'éprouvette étant pleine de liquide acide rougi par le tournesol, on l'affleurait au trait supérieur, et lorsque l'on voulait s'assurer de la quantité de chaux contenue dans un demi-décilitre de jus filtré et placé dans un verre, on y laissait couler le liquide de l'éprouvette, on agitait, et sitôt que tout le liquide se colorait en rouge, on fermait le robinet. On lisait alors le nombre des divisions qui représente les millièmes de chaux. Une éprouvette de 30 centimètres de hauteur pouvait servir à 10 ou 15 opérations consécutives, après quoi on l'emplissait de nouveau. Elle était placée de manière à ce qu'elle soit fixe en en prenant le pied dans une coulisse, par exemple. Pour l'emplir commodément, on plaçait au-dessus un flacon de 10 litres plein de liqueur, avec un robinet à la partie inférieure, coulant dans l'éprouvette. Quand le flacon était vide, on en remettait un autre.

La même installation peut s'adopter pour toute espèce de liqueur d'épreuve.

Le tournesol va très bien à la lumière du jour. Mais la nuit, avec l'éclairage au gaz, ou même dans la pénombre de locaux mal éclairés, ses indications sont difficiles à suivre. Aussi a-t-on recherché d'autres indicateurs plus sensibles à l'œil dans toutes les conditions de lumière.

La Phénolphtaléine est la substance qui est la plus employée à cet usage, parce que sa solution est incolore et qu'en présence des acides elle devient rouge. De telle sorte que, si on l'ajoute comme indicateur à un jus alcalin, elle ne modifie pas sa teinte ; mais si dans ce liquide ainsi constitué on ajoute de l'acide titré, le liquide devient rouge aussi-

tôt que la neutralité a disparu et que l'acidité commence. Le passage du blanc au rouge est facilement visible à toutes les lumières.

Malheureusement la phénolphtaléine ne donne pas des indications très exactes. Seulement comme en définitive on ne cherche dans le travail que des termes de comparaison, cet indicateur est généralement très suffisant.

Lorsqu'on veut avoir des résultats exacts il faut avoir recours au tournesol, et Pellet, après un travail très intéressant sur ce sujet, a montré que la meilleure manière d'employer le tournesol est de faire usage du papier glacé peint à sa surface avec cette teinture préparée à l'état dit *sensible*, que nous décrirons aux analyses. Le papier sensible sur lequel on étale une goutte de liquide devra toujours être employé comme témoin pour contrôler le travail de l'usine.

De plus, la liqueur titrée à l'acide sulfurique telle que nous venons d'en donner la composition, ne paraît plus assez exacte aujourd'hui que l'on conduit le travail des usines d'une façon plus scientifique. Aussi, au lieu de mesurer simplement un certain volume d'acide, s'astreint-on à peser le poids exactement correspondant à un millième de chaux, en ayant soin d'employer de l'acide sulfurique pur et récemment bouilli.

Nous avons indiqué le volume de 9,5 centimètres cubes d'acide sulfurique pour 10 litres, ce qui correspond à 17 gr. 505.

Comme il est difficile de peser exactement 17 gr. 505 d'acide, on verse l'acide dans un verre, et on en pèse 17 grammes environ en plus ou en moins, et on le dissout dans l'eau en en formant non pas 10 litres, mais le volume correspondant au poids d'acide que l'on a sur la balance.

Si, par exemple, 17 gr 505 font 10 litres, le poids x que l'on a sur la balance correspondra à un volume

$$V = \frac{10 \times x}{17,505}$$

On fera donc 9 litres de liqueur et on ajoutera l'eau correspondant à $V - 9$, volume facile à mesurer, en tenant compte, bien entendu de la température du liquide.

Enfin les burettes employées aujourd'hui pour ces dosages ont pris des formes beaucoup plus pratiques que celles que nous venons de décrire et qui étaient celles que nous utilisions dans nos premiers laboratoires sucriers. Nous donnons la description de quelques-unes de ces burettes dans notre chapitre analyses.

CHAPITRE QUATRIÈME

ACIDE SULFUREUX

§ 1. — Généralités

L'acide sulfureux a été long à pénétrer dans l'usage courant de la fabrication. Nous en avons expliqué les motifs dans le premier chapitre de cet ouvrage. En France, notamment, il a fallu que quelques fabricants se dévouent, pour ainsi dire, à la cause commune et appliquent l'acide sulfureux dans leurs usines pour que les autres ouvrent l'œil sur les bons résultats qu'on pouvait en attendre. Et, d'ailleurs, ce n'est pas sans longs tâtonnements, et même sans déboires, que les pionniers du progrès sont arrivés à tirer tout le parti possible de ce gaz dangereux quand on l'emploie mal, bienfaisant quand on sait s'en servir. Aujourd'hui, l'on peut dire que l'on s'est rendu maître de la difficulté, grâce aux renseignements recueillis dans les fabriques qui tentèrent les essais et les poussèrent à fond, jusqu'à la réussite.

Parmi ces hardis propagateurs de nouveautés, nous citerons le propriétaire de la sucrerie de Nassandres, A. Bouchon, qui fut l'initiateur de la sulfitation en France, et le propagateur de l'idée que l'acide sulfureux devait remplacer en sucrerie une partie des effets du noir que l'on avait déjà supprimé depuis quelque temps.

Voici, en effet, comment il s'exprimait en 1892, à l'assemblée générale du Syndicat des fabricants de sucre de France.

« Depuis longtemps, les fabricants de sucre ont cherché à supprimer dans leurs usines le noir animal, agent coûteux et par son prix et par les pertes en sucre qu'il occasionne.... En somme, le noir qui, en raffinerie, est encore aujourd'hui la base de l'épuration, ne sert plus en sucrerie qu'à filtrer les jus et à les décolorer. Aussi l'a-t-on remplacé, dans la majorité des usines, par des filtres mécaniques. Restait à produire l'action décolorante ; l'acide sulfureux gazeux remplit parfaitement ce but, et il jouit, en outre, de précieuses propriétés au point de vue de l'épuration des jus et de la facilité de leur travail, propriétés qui rendront, je crois, son emploi universel dans quelques années. »

Ainsi exposée, l'action de l'acide sulfureux est bien définie et bien

nette. C'est donc en nous inspirant de cette idée que nous allons décrire les méthodes que nous croyons les meilleures pour la sulfitation.

§ 2. — Sulfitation

Nous avons expliqué précédemment comment la sulfitation devait suivre la carbonatation pour compléter l'épuration du jus.

On conçoit, après ce que nous avons exposé, qu'il soit bien difficile de chercher à donner une règle générale pour la sulfitation, puisque chaque usine aura des jus de qualité différente et que, de plus, cette qualité dans chaque usine différera avec l'année et même dans la même année au début, pendant et à la fin de la fabrication.

On ne peut donc que donner des conseils aux chimistes dans les limites de nos connaissances actuelles, leur indiquant dans quel sens ils doivent conduire leurs investigations. C'est ce que nous allons essayer de faire.

D'abord, insistons encore sur ce point qu'il faut commencer par faire du bon jus. Il ne faut pas, en effet, oublier que lorsque l'on a des betteraves altérées ou trop vertes, la diffusion et les carbonatations doivent être conduites différemment qu'avec des betteraves à peu près normales, pour éviter autant que possible les sels de chaux, c'est-à-dire l'introduction dans les jus de substances azotées dérivées de l'albumine ou de l'acide malique.

Cette réserve faite, nous allons passer en revue toutes les phases de la fabrication où l'on peut ou doit sulfiter.

JUS BRUT

Lorsqu'on sulfit un jus brut, on remarque une précipitation abondante de matière organique et le jus est fortement décoloré.

Battut nous a appris que ce précipité contient plus de matières azotées que celui que l'on obtient par double carbonatation,

L'épuration par l'acide sulfureux agissant sur le jus brut non chaulé est donc des plus recommandables.

Mais il y a ici une difficulté. Le précipité formé se décante, mais ne filtre pas dans les filtres-presses ou les filtres mécaniques.

Tournant la difficulté, Viéville ajoute de la chaux au jus sulfité en présence du dépôt, le chauffe et l'envoie tel quel à la carbonatation où il reçoit la dose de chaux complémentaire nécessaire à ce travail.

Or, Battut a montré qu'en opérant ainsi, une partie des matières pré-

cipitées par l'acide sulfureux est redissoute, ce qui est normal, l'albumine étant soluble dans les alcalins.

Il serait donc de toute nécessité de filtrer le jus sulfité avant d'y introduire la chaux.

Les inventeurs ont donc à trouver ce filtre idéal. Mais peut-être arriverait-on au résultat désiré en ajoutant au jus des matières inertes comme le kieselguhr, la poudre de bois ou toute autre substance analogue d'un coût assez modique pour ne pas gréver le prix de revient du travail.

L'acide sulfureux, d'après Battut, doit-être introduit à la proportion maxima de un gramme par litre, à la température des bacs mesureurs.

Le jus ainsi traité est bien décoloré et décante facilement ; il n'y a pas d'inversion et le jus se conserve sans altération. Il demande moins de chaux à la carbonatation que le jus normal, soit $1/3$ ou moitié, et ne forme, pour ainsi dire, pas de sels de chaux dangereux.

Lorsqu'on chauffe le jus sulfité, il reprend partiellement sa couleur primitive. Ce n'est qu'une sulfitation, après carbonatation, sur jus ou sirop, qui décolorera pour passer la phase de la cuite.

En employant le procédé Viéville, on obtiendra une partie seulement de ces résultats. Mais, tel quel, il donne déjà une amélioration dans le travail, probablement en agissant sur les pectases et autres ferments, empêchant par là des formations ultérieures de gomme mélassigènes.

JUS CARBONATÉ

Après les carbonatations, si l'on veut faire une sulfitation, il y a certaines conditions indispensables à remplir.

D'abord, sous aucun prétexte, il ne faut sulfiter des jus troubles. La pratique qui consiste à sulfiter dans la même chaudière que la seconde carbonatation, et en présence des boues formées par cette dernière opération, est absolument défectueuse et condamnable, parce que l'acide sulfureux déplace l'acide carbonique de ses combinaisons et redissout les matières que l'on avait précipitées par cet acide carbonique.

Les liquides carbonatés doivent être très bien filtrés sur filtres mécaniques, et la sulfitation doit se faire dans des bacs à part, ne contenant aucune trace de carbonatations.

La sulfitation peut se faire continue dans un seul bac à trop plein, ou alternative dans trois bacs, comme nous l'avons expliqué antérieurement.

La carbonation des jus à sulfiter doit être arrêtée un peu avant le

point ordinaire, de manière à contenir encore un peu de *chaux réelle* et avoir une *alcalinité stable*. On arrête, en général, lorsque l'alcalinité comptée en chaux marque 0 gr. 5 de chaux au litre.

J'insiste sur une *alcalinité stable*.

La détermination du degré de stabilité de l'alcalinité devra être faite au moins une fois par jour, et en général, toutes les fois que l'on constate un changement dans la nature de la betterave, car c'est elle qui indique à quel point on arrête la sulfitation.

L'alcalinité est *stable* lorsque l'ébullition du jus pendant un certain temps ne procure pas un changement notable dans le degré alcalimétrique. Cette expérience est destinée à montrer si, pendant le travail, il y aura *rétrogradation* de l'alcalinité, quelle elle sera, car c'est le terme de cette rétrogradation qui fixe également le terme de la sulfitation.

Nous avons vu, en effet, que la rétrogradation était due surtout aux produits amidés, et qu'elle pourrait devenir dangereuse lorsqu'elle va jusqu'à rendre acide un liquide alcalin antérieurement.

Si l'essai montre que l'on est dans ce cas, la sulfitation est plus nuisible qu'utile, il faut de suite corriger les carbonatations et la diffusion avant de sulfiter. On voit que cet essai est utile même si l'on ne sulfite pas, et c'est pourquoi nous nous sommes si longuement étendu sur ce point de théorie chimique.

Au lieu de faire bouillir le jus carbonaté tel quel, de Grobert conseille de faire l'essai en ajoutant une certaine quantité bien titrée de soude caustique au liquide, soude dont on tiendra compte dans les titrages ultérieurs.

De plus, remarquant que le tournesol indique une alcalinité plus forte que celle donnée par la phénolphtaléine, parce que le tournesol fait connaître l'alcalinité due aux carbonates et aussi aux composés amidés que ne révèle pas la phénolphtaléine, il propose de prendre à chaque fois l'alcalinité par ces deux réactifs et la comparaison de la différence de leurs indications donne d'utiles renseignements sur la disparition des matières volatiles. On peut donc juger ainsi des deux rétrogradations parallèles, celle due aux sels ammoniacaux, et celle due au travail interne.

On prend 100 centimètres cubes de jus, indiquant par exemple :

Alcalinité tournesol.	0,035 (pour cent c. c.)
— phthaléine.	0,020
Différence.	0,015

On y ajoute 1 centimètre cube de soude titrée représentant 0,100 de chaux. L'alcalinité est donc devenue 0,135 et 0,120.

On introduit le tout dans un ballon muni d'un réfrigérant ascendant pour réintégrer sans cesse l'eau évaporée, et on fait bouillir 15 minutes environ ou plus, si c'est nécessaire. On titre alors et on trouve :

Alcalinité tournesol.	0,115
— phtaléine.	0,110
Différence.	0,005

Si l'on fait bouillir plus longtemps et que l'on ne voit plus de diminution dans les alcalinités et de différence dans les indicateurs, on est fixé sur l'alcalinité *stable* du jus que l'on doit sulfiter. La vraie alcalinité, celle que l'on retrouvera dans le sirop, n'est donc pas 0,020 à la phtaléine, c'est $0,110 - 0,100 = 0,010$, soit 0,010 que l'on constate dans les derniers essais, le reste étant dû à des matières instables protéiques ou volatiles.

Dans les jus sains la rétrogradation observée sera très faible. Dans les jus moyens, comme dans cet exemple, elle pourra descendre assez loin. Dans les mauvais elle pourra arriver à 0 et même à l'acidité.

Si donc on sulfite un jus dont on a constaté par expérience la rétrogradation, on tiendra son alcalinité, après sulfitation, au point donné par la différence avant et après l'expérience. Ainsi, dans cet exemple, on tiendra l'alcalinité du jus sulfité à $0,020 - 0,010 = 0,010$. Et si l'expérience n'avait indiqué aucune rétrogradation, on aurait pu sulfiter à la neutralité.

En agissant ainsi, on a beaucoup de chance pour n'avoir pas d'incrustation au triple-effet, due à la formation du bisulfite de chaux par excès de sulfitation qui se transforme en sulfite et se dépose.

Pour s'assurer s'il y a de la *chaux réelle* dans le jus, on emploiera les procédés connus : Essai hydrotimétrique ; précipitation du sucrate de chaux dans l'alcool à volume égal de celui du liquide et titrage de l'alcalinité dans le filtrat, qui donnera la potasse et la soude, et, par différence avec l'alcalinité totale, la chaux. Celle-ci retranchée du titre hydrotimétrique donnera la chaux combinée. Inutile d'insister sur ces déterminations du domaine des laboratoires.

Reprenons notre sulfitation.

Les jus, après la dernière carbonatation, contenant 0 gr. 5 d'alcalinité au litre (ou 0,05 pour cent c. c.), bien filtrés, sont donc sulfités de manière à abaisser l'alcalinité au degré déterminé d'avance.

Pendant la sulfitation, le sulfite de chaux se forme d'abord aux dépens de la chaux libre; puis il se forme des sulfites alcalins. Ensuite les acides organiques sont déplacés de leur combinaison avec la chaux pour faire le sulfite de chaux insoluble. A ce moment, le liquide est encore

alcalin. Enfin, il se forme des bisulfites alcalins, le jus se décolore et devient neutre. Si l'on va plus loin, le liquide devient acide par les acides organiques mis en liberté, puis par l'acide sulfureux libre.

Il y a danger à dépasser l'alcalinité.

De Grobert a proposé un réactif commode pour suivre le travail de la sulfitation. C'est un mélange de phénolphtaléine et de métylorange.

La phénolphtaléine se colore par les bisulfites, tandis que le métylorange conserve sa couleur. Mais ce dernier devient rouge aussitôt qu'il y a des acides libres.

Par conséquent, lorsque l'on suit la sulfitation au moyen de ce réactif qui est d'un rouge particulier, tant qu'il n'y a pas de bisulfite formé, le mélange du jus avec le réactif reste rouge. Puis la coloration rouge de la phénolphtaléine disparaissant aussitôt que les bisulfites se forment, le réactif colore le jus en jaune. Enfin aussitôt que l'acide sulfureux est en excès, le liquide redevient rouge par le métylorange. On arrête alors la sulfitation, car on passe à la phase dangereuse.

Enfin, si l'on veut une indication plus précise encore, on doit faire le titrage de l'acide sulfureux à l'iode, avec l'amidon comme indicateur, méthode connue des laboratoires.

Après sulfitation le jus est porté à l'ébullition, filtré sur filtres mécaniques ou dans un petit filtre-pressé à double toile, puis envoyé à l'évaporation.

SIROP

(A) Lorsque l'on a sulfité les jus, le sirop est peu coloré et alcalin faiblement, ou même neutre. Il contient des sulfates provenant de la transformation des sulfites. Cependant, si on le remet à la densité du jus, on remarque qu'il est plus coloré que le jus d'où il provient. Des réactions se sont donc passées dans l'intérieur de l'appareil d'évaporation.

Si l'on veut traiter encore ce sirop avant la cuite, on peut y ajouter un peu de baryte pour précipiter l'acide sulfurique, puis saturer par l'acide sulfureux les alcalis mis en liberté jusqu'à réaction neutre, il y aura nouvelle décoloration. On fait bouillir et on filtre.

(B) Si l'on n'a pas sulfité les jus, c'est sur le sirop que se passera tout le travail interne de la sulfitation avec son cortège d'observations et de déterminations préalables citées plus haut.

D'abord il faut remarquer que le sirop ne doit pas être trop concentré, les bulles gazeuses agissant mal sur un liquide peu fluide dont les molécules se meuvent malaisément. Des veines de sirop se sulfitent beau-

coup tandis que les voisines ne sont pas atteintes par le gaz, d'où travail irrégulier et même dangereux pour le résultat que l'on veut atteindre. Les sirops doivent avoir de 12 à 18° Baumé environ. C'est la densité que l'on rencontre dans le troisième corps du quadruple-effet.

En conséquence, il faudra établir une pompe qui extraie le jus concentré de l'avant-dernier corps de l'appareil d'évaporation, et c'est ce sirop qu'on sulfitera.

Le sirop à sulfiter doit être alcalin *naturellement*. Il doit provenir d'un jus alcalin resté alcalin après évaporation. S'il était neutre ou même acide, cela résulterait d'un jus malsain, et la sulfitation pourrait être inutile et même dangereuse.

Il faut donc avoir fait la dernière carbonatation avec toutes les mêmes précautions que si c'était sur le jus carbonaté que l'on aurait dû opérer la sulfitation, c'est-à-dire examiner si l'alcalinité est *stable*.

Puis, après cet essai, calculer l'alcalinité et la *chaux réelle* que l'on doit y laisser pour qu'arrivé à l'état de sirop il conserve encore une alcalinité franche.

Enfin, déterminer en même temps le point auquel on devra arrêter l'alcalinité après sulfitation du sirop pour qu'il ne se forme pas du bisulfite de chaux.

Le bisulfite de chaux est dangereux dans les sirops, non seulement à cause des incrustations, mais encore parce qu'il peut passer dans la cuite où il se précipiterait à l'état de sulfite, salissant en fin de compte le sucre dans la turbine. Or, les sucres qui contiennent du sulfite de chaux précipité ne se conservent pas, celui-ci se changeant en sulfate, ou pouvant même, en présence de l'humidité, précipiter du soufre, dégager de l'hydrogène sulfuré, se transformer finalement en acide sulfurique et intervertir le sucre. C'est ainsi que l'acide sulfureux mal employé a produit parfois des désastres qui ont nui à sa réputation, tandis que les fabricants seuls étaient fautifs par ignorance.

On voit donc l'importance de déterminer exactement le point auquel on doit arrêter la sulfitation. D'ailleurs, si l'on dépasse un peu ce point, ce sera dans la dernière caisse d'évaporation que se fera la transformation du bisulfite de chaux, et elle s'encrassera. Il est donc, de plus, indispensable de filtrer le sirop encore une fois au sortir de la dernière caisse.

Aulard laisse dans ses jus, après deux carbonatations, 0 gr. 50 de chaux *réelle* par litre, correspondant à une alcalinité totale de 0 gr. 75 à 0 gr. 85.

Ces conditions sont bonnes dans la plupart des cas. Dans d'autres, elles pourront être insuffisantes si l'alcalinité est par trop instable. On

s'en apercevra d'ailleurs immédiatement, quand on fera l'alcalinité du sirop avant sulfitation.

La sulfitation du sirop se fera comme celle du jus avec les mêmes indicateurs et en suivant les mêmes règles.

Après sulfitation on chauffe, on filtre et on alimente la dernière caisse de l'appareil d'évaporation avec ce sirop.

ÉGOUTS DE TURBINAGE

Les égouts des turbines contiennent toutes les impuretés de la betterave qui ont échappé aux différentes épurations.

Les égouts qui sortent des premiers tours de la turbine sont les plus impurs. Puis, lorsqu'on clairce, on a des égouts de plus en plus purs et à la fin un égout parfaitement cristallisable. C'est ainsi que, prélevant des échantillons successifs toutes les demi-minutes sur les égouts d'une turbine, j'ai trouvé une pureté de 71 d'abord, puis 73 au moment du clairçage, 76 au moment où l'on met la vapeur, pour aller à 85 en fin de turbinage.

Que peut-on appeler égout riche et égout pauvre ? Comme la délimitation n'est pas facile à établir, on prend généralement comme égout riche ce qui passe au moment où l'on met la vapeur.

Ces égouts riches peuvent être rentrés immédiatement à la cuite, mais auparavant ils doivent être filtrés.

Sur les égouts pauvres, on prélève une certaine quantité pour rentrer à la cuite et aux malaxeurs, le reste étant cuit pour faire les seconds jets. Dans l'un et l'autre cas, il est utile de filtrer les égouts pauvres.

Mais ces égouts sont généralement trop visqueux pour passer par les filtres. Une sulfitation et une élévation de température leur rendra un peu de fluidité.

La sulfitation de ces produits peut aller sans crainte jusqu'à une légère acidité, car elle sera due à des acides organiques.

Si l'on veut rentrer les égouts riches à la carbonatation, comme le fait Viéville, une acidité franche est encore moins à craindre, puisque les bisulfites seront de suite saturés par la chaux du jus.

En général, la sulfitation suivie d'une filtration est toujours un bien, appliquée sur tous produits à évaporer, car toujours on recueille sur les filtres de la chaux ou des boues. Plus les produits sont impurs, moins l'acidité est à craindre pour la sulfitation. Cependant, nous n'oserions donner de règles générales sur ce point, car ces derniers produits varient

tellement avec les fabriques et les saisons, que le chimiste seul est bon juge du travail qu'il faut suivre dans l'usine qu'il surveille.

CONCLUSION

Nous avons réuni dans ces pages tous les conseils que l'on peut donner aux chimistes pour mener à bien la sulfitation. Il est impossible d'établir des règles générales, mais avec ces données un chimiste pourra toujours se tirer d'affaire, quelles que soient les betteraves qu'il ait à travailler.

Heureusement la sulfitation n'est pas généralement bien compliquée. En fabrication, on peut souvent pendant de longues périodes suivre le même *modus operandi*. Tant que la betterave est bonne, la sulfitation n'offre aucune difficulté. Mais lorsque la période des difficultés commence, c'est alors que l'on a besoin d'un guide !

C'est donc pour éclairer les chimistes sur ce qu'ont fait leurs prédécesseurs dans les cas difficiles que nous avons écrit ces lignes, heureux si nous y avons réussi.

§ 3. — Procédé Ranson.

Le procédé Ranson se compose de deux parties distinctes : la première, la principale, celle seule que nous traiterons en détail, consiste dans l'action de l'acide hydrosulfureux sur les jus et sirops. La deuxième, qui est secondaire, comporte l'emploi de l'eau oxygénée pour transformer les sulfites en sulfates après l'action de l'acide hydrosulfureux.

D'après ce que nous avons vu précédemment, l'action de l'acide hydrosulfureux sur les jus et sirops consistera d'abord à précipiter toutes les matières albuminoïdes qui entraînent avec elles des sels, des matières gommeuses et pectiques. Il agira, en outre, sur les acides organiques complexes qui tendent, dans leurs décompositions par les réducteurs, à passer d'une série condensée dans une autre moins condensée, la limite étant les hydrocarbures. Il en résulte une diminution de plus en plus grande dans la viscosité de ces produits. Enfin, il détruira les nitrates, les ammoniacales composées, et laissera, en dernier lieu, un liquide réellement épuré.

Ranson a appliqué son procédé aux sirops de l'avant-dernier corps de l'appareil d'évaporation. Il pourrait aussi bien traiter les jus, mais comme, en fin de compte, l'effet est sensiblement le même, il vaut mieux

s'attaquer aux sirops qui occupent un bien moindre volume, et réclament, dès lors, beaucoup moins de manipulations et de produits.

Il soumet aussi à l'action de l'acide hydrosulfureux les égouts de turbinage riches et pauvres. Ces égouts, résultant de la cuite des premiers liquides déjà traités, présentent encore des produits organiques condensés pendant l'évaporation, et sur lesquels l'acide a encore de l'action, comme en témoigne l'augmentation de fluidité ainsi que les dépôts abondants qu'ils laissent sur les toiles des filtres mécaniques.

En principe, le procédé repose sur ce fait que les bisulfites, aussi bien que l'acide sulfureux, mis en présence de poudre de zinc ou d'étain, forment de l'acide hydrosulfureux combiné ou libre qui, après avoir réagi sur les corps ambiants, se transforme en sulfites.

Il suffira donc de sulfiter les sirops ou égouts de manière à former, avec tous les alcalis libres, des bisulfites avec excès d'acide sulfureux libre, excès proportionnel à l'impureté des liquides que l'on traite ; d'ajouter de la poudre de zinc ou d'étain ; d'agiter quelque temps pour laisser la poudre métallique agir sur tout l'acide sulfureux, et l'acide hydrosulfureux réagir sur les matières organiques ; puis de chauffer pour décomposer l'excès d'acide hydrosulfureux et de filtrer.

Comme on sulfite acide, il faudra avoir soin de refroidir les sirops à 40 ou 50°, et d'autant plus qu'ils seront plus purs. Avec des égouts, on peut tenir la température à plus de 60° sans danger d'inversion.

PREMIÈRE SULFITATION

Nous avons dit que dans le procédé Ranson on ne faisait intervenir l'action de l'acide hydrosulfureux qu'après avoir épuisé celle de l'acide sulfureux.

On commence donc par faire une première sulfitation des sirops identiquement dans les mêmes conditions que celles que nous avons indiquées précédemment, avec les mêmes précautions et aussi les mêmes difficultés.

Il est de première nécessité de précipiter le plus possible la chaux organique avant l'hydrosulfitation, car cette opération se faisant en présence d'un excès d'acide sulfureux, il se formera des bisulfites de chaux que l'on pourra retrouver en incrustations dans le dernier corps de l'appareil d'évaporation.

Il faut donc conduire aussi bien le travail de l'usine quand on se sert de l'acide hydrosulfureux que quand on emploie l'acide sulfureux seul, avec cette perspective consolante cependant, que même dans les cas

désespérés, avec de très mauvaises betteraves, quand les rentrées d'égouts sont devenues impossibles par tout autre procédé, on pourra toujours se tirer d'affaire avec le système Ranson.

C'est le cas qui nous est arrivé à Voïtovetz, à la fin de la campagne 1897-98, en fin de février.

HYDROSULFITATION

Après la première sulfitation, et la filtration soignée qui doit la suivre, on refroidit les sirops à 50° en les faisant passer par un appareil tubulaire à contre-courant d'eau froide ; puis on les envoie dans les chaudières à hydrosulfitation.

Ces appareils sont des cylindres verticaux à fond conique dans lesquels des agitateurs se meuvent avec une vitesse telle que le sirop y soit fortement agité. Ils comportent comme accessoires un robinet d'arrivée de sirop, un robinet de jauge, un robinet d'acide sulfureux prolongé dans la caisse par un tuyau qui s'épanouit en serpentín percé de trous horizontalement à la naissance du cône, enfin d'une soupape de vidange.

Quand la chaudière est pleine jusqu'au robinet de jauge, on sulfite le sirop jusqu'à 1 gr. 5 d'acide sulfureux par litre environ, quantité variable avec la densité et la qualité du sirop. Cette teneur se titre à l'iode avec la plus grande facilité.

Lorsque l'on est arrivé à ce point, on ajoute dans la chaudière 25 grammes de zinc en poudre ou 5 grammes d'étain en pâte par hectolitre de capacité de la chaudière, et on laisse malaxer pendant 10 ou 15 minutes.

La pâte d'étain est préférable au zinc à cause de la moins grande solubilité de ses sels et de leur transformation rapide en stannates ou en sulfure d'étain insoluble. Vu la différence des proportions des deux métaux employés, le prix de revient est le même.

Après malaxage, on ouvre la soupape de vidange, et le sirop tombe dans un bac où il est réchauffé à 70 ou 75° ; puis on filtre soigneusement, et l'opération est terminée.

On concentre dans la dernière caisse de l'appareil d'évaporation, on filtre de nouveau et l'on cuit. Mais les cuiseurs doivent faire attention au grainage qui est beaucoup plus rapide qu'avec les sirops ordinaires, et aux charges pour ne pas produire de grains fins.

Telle est la partie principale du procédé, qui se fait remarquer par la simplicité de la manipulation et la facilité avec laquelle se font ces opérations.

Nous devrions nous en tenir là pour le moment. Mais le procédé Ranson forme un tout qui s'enchaîne dans la fabrication, car il s'applique aux bas-produits après avoir produit son influence sur les jus et sirops. Nous donnons donc ci-après la suite du procédé quoique cette partie empiète sur le point où nous en sommes de la fabrication. Quand nous en serons à l'étude des bas-produits nous rappellerons ce que nous allons dire maintenant pour que l'on puisse s'y reporter.

ÉGOUTS

Les égouts de turbinage sont très fluides et très clairs. Quelques usines les emploient tels quels pour les rentrer à la cuite ou faire les seconds jets. Nous préférons traiter encore les égouts pauvres par l'acide hydrosulfureux.

Les égouts pauvres sont donc envoyés dans une chaudière d'hydro-sulfitation semblable aux autres. On les titre à l'iode à leur réception, on les sulfite, et on arrête le gaz lorsque l'iode indique 0,5 d'acide sulfureux libre ; puis on ajoute 40 grammes de zinc ou 8 grammes d'étain par hectolitre. On malaxe un quart d'heure, on coule dans des bacs réchauffeurs où l'on pousse la température à 80 ou 85° et l'on filtre.

La filtration est facile, malgré la haute densité des égouts. Ils sont blonds rougeâtres.

RENTRÉES A LA CUIITE

Quels égouts et quelle quantité d'égout devra-t-on rentrer à la cuite, et comment devra-t-on faire cette rentrée ?

Les égouts riches peuvent être rentrés tels quels à la cuite.

Nous préférons les faire passer par la carbonatation pour les débarrasser de leurs sulfites qui restent alors dans les filtres, à l'état de sulfite de chaux.

Les égouts pauvres hydrosulfités destinés à la cuite sont également envoyés à la carbonatation.

Quand on a trois carbonatations, les égouts riches vont à la troisième, et les égouts pauvres à la seconde. Quand on n'en a que deux, tout va à la seconde.

Par conséquent, on ne rentre pas positivement les égouts à la cuite par cette méthode. C'est un sirop que l'on cuit et qui contient une certaine portion des égouts de turbinage. Nous n'avons jamais eu de difficultés à opérer ainsi et nos rendements étaient excellents.

Cette manière de faire implique une plus grande capacité des bacs d'hydrosulfitation et une consommation un peu plus grande de soufre et d'étain, puisque les égouts reviennent encore une fois comme sirop à l'hydrosulfitation. C'est peut-être pourquoi aussi, après carbonatation et deux hydrosulfitations, ils sont si bien épurés que la cuite ne s'en ressent pas, malgré l'abaissement de pureté qui en provient.

Dans la sucrerie de Tchédrova on ne sulfite pas les égouts; on les envoyait directement à la carbonatation.

D'ailleurs, chaque directeur peut traiter et utiliser ses égouts comme il l'entend, la qualité de la betterave étant en tout cela son seul guide.

Combien fera-t-on rentrer d'égout pauvre? La réponse est difficile parce qu'il faudrait définir ce qu'on appelle égout riche et égout pauvre.

Quand on envoyait tous les égouts à la même carbonatation, j'opérais ainsi: un turbinage durant dix minutes, je faisais tourner deux minutes en égout pauvre pour la cuite de deuxième jet, et huit minutes, y compris la clairce et la vapeur, en égout riche pour les rentrées à la carbonatation.

De la sorte, les égouts pauvres pour cuite de deuxième jet avaient 63 à 65 de pureté. Si l'on veut séparer les égouts pauvres et riches pour la cuite de premier jet, il faut donc séparer d'abord les égouts de 63 et 65 de pureté pour deuxième jet, puis séparer encore le restant en pauvre et riche, comme on l'entendra.

Il est évident que l'on n'arrive pas immédiatement à avoir des égouts pauvres à 63-65. Ce n'est qu'en travail courant qu'on y parvient.

CUITE DE SECONDS JETS

Les égouts à 63-65 de pureté, préparés comme nous venons de le dire, cuisent très bien et donnent une cristallisation abondante avec amorçage.

On coule la cuite dans des malaxeurs ouverts, sans enveloppe, et quatre ou cinq jours après ils donnent au turbinage du sucre jaune et de la mélasse à 52-54 de pureté.

Les sucres jaunes ont une teinte spéciale. Comme ils représentent une très petite quantité de la production, on a tout intérêt à les refondre à la deuxième carbonatation pour n'obtenir, en fin de compte que sucre blanc extra et mélasse, et clore ainsi sa fabrication avec la dernière betterave.

EAU OXYGÉNÉE

Les sirops, les égouts et la mélasse contiennent des sulfites. Les fabricants qui, pour une raison ou pour une autre que nous ne décrirons pas, désireraient les faire disparaître, traiteront ces liquides par l'eau oxygénée, qui se prépare facilement à l'usine. De la sorte, les égouts et les mélasses ne contiendront plus que des sulfates.

Remarquons que ceci se rapporte aussi bien à la sulfitation simple qu'au procédé Ranson, les sulfites n'étant l'apanage spécial d'aucun de ces deux procédés.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce chapitre qui sort de notre cadre.

CONCLUSION

La sulfitation a son rôle en sucrerie, l'éloignement des sels de chaux, et c'est un grand rôle.

L'hydrosulfitation en a un autre, la purification des sirops.

L'une complète l'autre, mais la seconde ne marche pas sans la première. Elles marchent ensemble, mais ne se font pas concurrence.

Elles concourent toutes deux au but que se proposent les bons fabricants : faire sucre extra-blanc et mélasse épuisée. Encore un pas, et la mélasse n'existera plus du tout, on fera sucre et salins.

Il faudra pour cela un troisième procédé : peut-être la baryte, qui supprimera définitivement la mélasse. Pourquoi pas ? lorsqu'avec l'acide sulfureux et l'acide hydrosulfureux on fait si peu de mélasse, il suffit que la baryte soit à bas prix, et que la mélasse se vende un peu moins cher, et le mot *mélasse* ne sera plus qu'un souvenir dans la sucrerie !

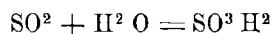
§ 4. — Fours et pompes à acide sulfureux (1).

Avant d'entrer dans l'étude des appareils producteurs d'acide sulfureux, il est bon de s'arrêter un peu sur la nature du corps que nous allons produire, et de la matière première, le *soufre*, qui sert à sa fabrication.

1. Rapport fait au *Syndicat des fabricants du sucre de France* (18 mai 1899).

ACIDE SULFUREUX

L'acide sulfureux est un gaz qu'en chimie moderne on nomme *anhydride sulfureux* (SO^2), affectant le nom d'*acide sulfureux* à la dissolution de ce gaz dans l'eau avec laquelle il est combiné :



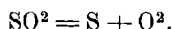
Le gaz sulfureux est plus lourd que l'air ; sa densité est 2,234. Il se liquéfie facilement. Ainsi, à la pression barométrique normale, une température de -10° rend l'anhydride sulfureux liquide. De même, à la température ordinaire, une pression de 3 atmosphères produit le même résultat.

C'est cet anhydride sulfureux liquide que l'on vend dans des bouteilles en fer résistantes, et que l'on emploie parfois dans les sucreries.

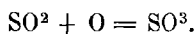
Lorsque l'on ouvre le robinet placé sur ces bouteilles, le liquide, passant d'une pression de 3 ou 4 atmosphères à la pression atmosphérique, entre en ébullition et se volatilise. Dans ce passage de l'état liquide à l'état gazeux il y a une forte absorption de chaleur, et le gaz sulfureux qui s'échappe est tellement refroidi, il est environ à -20° au-dessous de la température ambiante, que le robinet et les tuyaux se recouvrent de givre. Le liquide lui-même se refroidit tellement, que l'on est obligé parfois de le chauffer pour qu'il entre en vapeur.

La densité de l'anhydride sulfureux liquide est de 1,43.

Lorsque le gaz sulfureux est porté à une température de 1.200° il se *dissocie*, c'est-à-dire qu'il se transforme en soufre et oxygène :



L'oxygène naissant qui se forme dans ces conditions se reporte alors sur l'acide sulfureux en excès pour former de l'*anhydride sulfurique* :



C'est la raison pour laquelle les fours à soufre produisent une certaine quantité d'acide sulfurique. C'est au point où la combustion est la plus vive, où la température se rapproche de 1.200° qu'il se forme, car la dissociation commence bien avant 1.200° , entre 800° et 900° .

Sainte-Claire Deville a fait des expériences prouvant qu'à 1.200° la dissociation de SO^2 est complète. J'ai cherché à me rendre compte de la température à laquelle commence cette dissociation.

A cet effet, j'ai fait traverser à du gaz sulfureux, parfaitement sec, un

tube en porcelaine rempli de porcelaine concassée. Ce tube était sur une grille à gaz de laboratoire dans laquelle la température maximum que l'on peut obtenir ne dépasse pas 900 à 1.000°.

Le gaz, en sortant du tube, traversait une dissolution de chlorure de baryum saturée d'acide sulfureux. Cette dissolution ne précipite pas, naturellement par SO^2 , mais donne un précipité avec SO^3 .

Dans ces conditions, j'ai remarqué que la liqueur de baryum commence à loucher lorsque le tube arrive au rouge cerise, soit environ 900°, et que le louche augmente sensiblement quand on arrive à 1.000°, sans cependant être très abondant.

Mais si, après refroidissement, on lave l'intérieur du tube avec de l'eau alcaline, on trouve que cette eau contient des quantités considérables de sulfate.

Cela n'a rien d'étonnant si l'on remarque qu'à ces températures la dissociation de SO^2 , en S et O^2 , pour former ensuite SO^3 avec SO^2 en excès, est accompagnée d'une dissociation de SO^3 en SO^2 et O.

Dans un gaz à haute température on sait quels éléments existent, mais il est difficile de savoir à quel état ; exactement comme dans une dissolution limpide, on sait les corps que l'on y dissout sans remarquer les actions réciproques qui se passent.

Il n'est donc pas étonnant qu'au bout du tube, malgré la dissociation très grande de SO^2 qui s'est effectuée à l'intérieur, on ne récolte qu'une petite quantité d'acide sulfurique.

Ceci nous donne à penser que, dans les fours, à partir de 800° environ, la dissociation commence, mais qu'elle est accompagnée de la dissociation parallèle de SO^3 formé ; que, par conséquent, il ne passe dans les tuyaux qu'une petite quantité d'acide sulfurique, d'autant plus grande que le courant d'air aura été plus vif et le brassage des gaz moins complet.

Ces expériences ont été faites avec du gaz sec. Si le gaz est humide, la formation d'acide sulfurique devient alors très évidente. Il suffit de n'avoir pas bien desséché le tube pour s'en apercevoir immédiatement.

Dans la construction des fours, il faut donc éviter le plus possible les points de combustion vive, et répartir l'air également sur toute la surface de combustion.

L'acide sulfureux ($\text{SO}^3 \text{H}^2$) en présence d'une grande quantité d'eau, dissout l'iode en donnant une solution incolore. Il se forme de l'acide iodhydrique et de l'acide sulfurique.

On se sert de cette réaction pour *doser l'acide sulfureux en solution aqueuse*, par exemple pour se rendre compte de la quantité d'acide sulfureux que contient un jus ou un sirop.

On opère de la manière suivante :

On pèse 4 grammes d'iode que l'on met dans un mortier de porcelaine avec quelques grammes d'iodure de potassium. On délaye avec un peu d'eau. L'iode se dissout peu à peu. On verse le liquide dans un flacon d'un litre, en ajoutant de l'eau dans le mortier et au besoin de l'iodure de potassium, jusqu'à ce que tout l'iode soit complètement dissout. On complète alors le litre avec de l'eau.

On prépare aussi une dissolution quelconque d'amidon.

Dans un tube à essai on verse 1 centimètre cube de solution sulfureuse à essayer. On y ajoute un peu d'amidon. Puis, avec une burette graduée, on verse la solution d'iode goutte à goutte dans la solution sulfureuse amidonnée, jusqu'à ce que le liquide devienne bleu.

A ce moment on lit sur la burette, et la quantité de centimètres cubes de liqueur d'iode employée représente la quantité de grammes d'acide sulfureux SO^2 par litre.

On peut faire des solutions d'iode deux fois ou quatre fois plus faibles pour doser des quantités faibles d'acide sulfureux.

Cet essai est très utile à faire souvent en fabrication.

Analyse du gaz sulfureux. — Le gaz produit par la combustion du soufre est un mélange d'acide sulfureux, d'azote et d'air.

Nous savons que l'air contient 20,93 d'oxygène en volume, chiffre qui est un peu plus faible en pratique à cause de la présence de l'acide carbonique et de l'humidité dans l'atmosphère.

Nous savons aussi que 1 volume d'oxygène combiné au soufre produit 1 volume d'acide sulfureux SO^2 . Par conséquent 100 volumes d'air donneront au maximum 20,93 volumes de SO^2 .

Comme il y a toujours un excès d'air qui passe, le gaz sera, industriellement, d'autant meilleur que sa composition se rapprochera davantage du maximum de 20 % de SO^2 .

Il est donc aussi utile d'essayer son gaz sulfureux que son gaz carbonique, et c'est un essai qui est trop souvent négligé en sucrerie.

La raison en vient de la difficulté que présentent ces essais. En effet, le gaz sulfureux étant éminemment soluble dans l'eau, les dosages ne peuvent se faire que sur le mercure, opération qui n'est pas praticable à l'usine. Aussi a-t-on cherché autre chose.

On peut faire ces essais au moyen de la liqueur d'iode, en y faisant barboter le gaz bulle à bulle jusqu'à décoloration, et mesurant le volume écoulé. Mais cette méthode, très exacte au laboratoire, est peu industrielle. Il faut, en effet, pour l'usine un appareil portatif que l'on puisse confier à un aide pour avoir des analyses de jour et de nuit.

Pellet nous a fait connaître deux appareils pratiques pour faire ces essais.

L'appareil *Rüdorff* (fig. 57) est un flacon à trois tubulures exactement jaugé.

Sur sa première tubulure, on place un robinet en verre à deux eaux, communiquant soit avec l'atmosphère, soit avec un petit tube en U contenant du mercure et servant

de manomètre ; sur la seconde, on fixe une burette graduée à robinet ; sur la troisième, un tube à robinet.

L'appareil étant absolument sec, on le remplit du gaz à analyser en y faisant passer ce gaz jusqu'à ce que tout l'air soit chassé. On ferme alors les robinets en s'assurant, au moyen du petit manomètre, que l'on est bien à la pression atmosphérique.

A ce moment, on ouvre le robinet de la burette qui contient une solution de potasse ou de soude titrée. L'acide sulfureux absorbe immédiatement l'alcali et il se fait un vide relatif, surtout en agitant l'appareil. On arrête l'expérience lorsque la pression normale se rétablit, preuve qu'il n'y a plus absorption. La quantité de liqueur employée donne la quantité de SO_2 , correspondant au volume

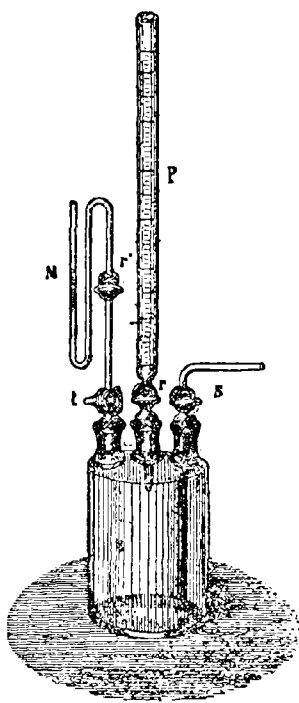


Fig. 57.

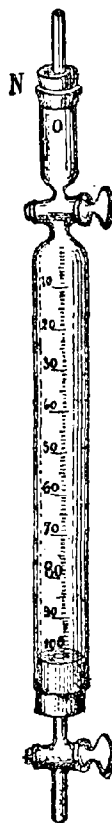


Fig. 58.

du flacon. Une simple proportion donne le pourcentage.

L'appareil *Raoult* (fig. 58), modifié par Pellet, est une simple burette à deux robinets, divisée en 100 parties égales et subdivisions entre les deux robinets. L'un des robinets est surmonté d'un entonnoir que l'on peut fermer au moyen d'un bouchon traversé par un bout de tube de verre.

L'appareil étant bien sec, on y fait passer un courant de gaz à analyser. On ferme les robinets quand tout l'air est chassé. On emplit l'entonnoir d'une solution quelconque alcaline, potasse ou soude concentrée, puis on ouvre le robinet sous l'entonnoir. La potasse est absorbée ; on agite et l'on arrête finalement l'arrivée de la potasse en fermant le robinet quand il n'y a plus absorption. La lecture donne directement le pourcentage du gaz en SO^2 .

Après les essais on lave bien les appareils, quel que soit celui dont on se serve, on les sèche à l'alcool et à l'éther, et ils sont prêts pour une autre expérience.

SOUFRE

Le soufre que l'on trouve dans le commerce a différentes provenances : D'abord le *soufre dit de Sicile*, fabriqué avec le soufre recueilli à l'état natif dans les environs des volcans en activité ou éteints.

C'est la provenance la plus considérable des soufres industriels.

Puis le soufre que l'on appelle *soufre chimique* ou *soufre régénéré*, qui provient de la distillation des pyrites et surtout de la régénération des résidus de la fabrication de la soude.

Tous ces soufres sont raffinés par distillation, moulés en canon et livrés à cet état à la consommation.

Ils sont tous très purs, ne laissant pas plus de 1/2.000^e de cendre.

Seulement il s'en faut qu'ils soient tous aussi favorables à la préparation de l'acide sulfureux dans les fours que l'on possède actuellement.

Les uns brûlent bien, les autres brûlent mal. Pourquoi ?

Nous allons tâcher d'en donner une explication.

Le soufre se présente sous diverses formes jouissant de propriétés différentes. On a classé ses variétés de la manière suivante :

Soufre octaédrique ou *orthorombique*. — S_α . — C'est le soufre tel qu'on le trouve cristallisé dans les solfatares, le plus répandu dans la nature. Il a une densité de 2,05. Il fond à 114°,5. Chauffé à 120°, il brunît et devient visqueux. A 250° il est tellement visqueux, que l'on peut retourner le vase qui le contient sans le voir couler. A 300° il redevient tout à fait liquide et, à 440°, il entre en ébullition et s'évapore. La vapeur de soufre est orangée, très lourde, sa densité est 6,654.

Le soufre est très soluble dans le sulfure de carbone, les hydrocarbures, et lorsqu'on évapore ces solutions il reprend sa forme cristalline primitive.

Il dégage en brûlant 71.080 calories (1) pour se transformer en SO^2 .

1. D'après *Thomsen*, pour 32 kilogrammes de soufre, ce qui fait 2.221 calories pour 1 kilogramme de soufre.

Soufre prismatique ou *clynorhombique*. — $S\beta$. — Le soufre ordinaire, fondu à 200° , prend quelques propriétés nouvelles.

Si on le laisse refroidir lentement dans un creuset et qu'on écoule son contenu avant qu'il soit complètement solidifié, on remarque dans le creuset une magnifique cristallisation en aiguilles transparentes un peu rougeâtres.

Le soufre, dans ces conditions, a donc une autre forme cristalline que le précédent. Il a aussi d'autres propriétés.

Son point de fusion est plus élevé : 200 degrés ; sa densité est plus faible : $1,98$.

Il se dissout comme le premier dans le sulfure de carbone et les hydrocarbures, mais l'évaporation de ses dissolutions redonne le même soufre $S\beta$.

Cependant, si dans ces solutions saturées on jette un cristal de $S\alpha$, c'est sous cette forme qu'il cristallise.

A la longue, les cristaux prismatiques deviennent opaques et finissent par se désagréger sous la forme octaédrique, $S\beta$ se transforme en $S\alpha$.

Cette transformation peut se faire plus rapidement en rayant simplement un cristal de $S\beta$ avec un cristal de $S\alpha$. Les aiguilles deviennent opaques et il y a dégagement de chaleur.

Le soufre prismatique $S\beta$ en brûlant dégage plus de calories que l'autre, soit 71.720 (¹).

Ainsi ces deux variétés diffèrent par quelques calories, la seconde réclamant pour brûler plus de calories que la première.

Il en est de même des variétés suivantes.

Le soufre se présente, en effet, sous deux autres états qui sont caractérisés par ce fait que ces deux variétés sont insolubles dans le sulfure de carbone. On les nomme *soufre insoluble*.

$S\gamma$ est le *soufre précipité* de son chlorure ou des hyposulfites. Il est amorphe, jaune orangé, mais lorsqu'on le chauffe il redevient soufre soluble. La caractéristique de cette variété c'est que, à 100° , il ne subit aucune modification ; mais si l'on pousse la température à 111° il se change rapidement en $S\delta$ avec notable dégagement de chaleur. $S\beta$ et $S\gamma$ ne diffèrent donc que par quelques calories.

Chauffé à 300° il redevient $S\alpha$ par un *refroidissement lent*. Si le refroidissement est trop brusque, on a un mélange des deux premières variétés, $S\alpha$ et $S\beta$ et peut-être même $S\gamma$.

Enfin la dernière variété $S\delta$ est le *soufre mou* ou *soufre trempé*, bien connu de tout le monde.

1. 71.720 calories pour 32 kilogrammes de S, soit $2,240$ calories pour 1 kilogramme de soufre.

Lorsque l'on coule le soufre fondu dans de l'eau froide, il prend en y tombant diverses formes et diverses couleurs suivant la température à laquelle il était au moment de la coulée. Entre 114 et 100°, le soufre trempé est dur et jaune ; ce n'est pas le soufre trempé proprement dit. A 190° on a un soufre mou qui devient bientôt dur, cassant et opaque avec la couleur du soufre ordinaire. A 220° le soufre mou est brunâtre et plus élastique que le précédent. De 230 à 260, surtout à partir de 260°, on obtient le véritable soufre mou classique, très ductible, transparent, rougeâtre, allant jusqu'au rouge brun si la température était à 400°.

Le soufre coulé ainsi n'est pas complètement insoluble si la température était basse. On ne trouve tout le soufre insoluble qu'à partir de 170°, et plus on coule chaud plus la variété S δ apparaît dans l'échantillon.

D'ailleurs en chauffant ensuite doucement le soufre mou, surtout vers 111°, on le transforme vite en S β , et l'on constate un dégagement de chaleur pendant la transformation.

Il ressort de cette étude que le soufre naturel dégage 71.000 calories en brûlant, tandis que les autres variétés produisent 71.700 à 72.000 calories⁽¹⁾.

On voit aussi, qu'en chauffant vers 111° les variétés S γ et S δ elles se transforment en S β , mais que cette transformation est accompagnée d'un dégagement de calorique. La chaleur interne de toutes ces variétés est donc plus grande que celle de S α .

On voit enfin que sauf S γ , les autres variétés proviennent de l'action de la chaleur sur S α .

Ainsi, si l'on chauffe un peu trop le soufre à la coulée dans les formes, si, au contraire, on les refroidit trop vite, on pourra avoir des canons de soufre contenant les trois variétés S α , S β , S δ , et qui demanderont pour fondre une température plus élevée, et de plus, une partie de la chaleur développée pour opérer cette fusion sera employée à transformer S β et S δ en S α .

Il en est de même pour le soufre précipité qui peut redevenir soufre normal, mais à condition de subir un chauffage et une température appropriés à son état.

C'est lors de la coulée du soufre en canons que l'on doit porter tous ses soins, et si telle ou telle marque est préférable à telle autre, c'est que les soins portés à sa fabrication, l'observation des températures, auront été mieux suivis et plus savamment dirigés.

Un soufre ne contenant que la première variété fondra facilement et

1. Soit 2.220 à 2.250 calories par kilogramme de soufre.

entrera en vapeur avec une quantité de chaleur fournie extérieurement tout à fait normale.

Un autre soufre, ne présentant qu'un mélange des variétés moins fusibles, demandera beaucoup plus de chaleur pour passer à l'état de gaz. En sorte qu'avec le même nombre de calories fournies extérieurement, on produira moins d'acide sulfureux avec ce second soufre qu'avec le soufre normal, ce qui fait dire que ce soufre brûle moins bien et donne moins de SO^2 dans le même temps que le bon soufre de Sicile.

Dans les fours à soufre, c'est la combustion du soufre lui-même qui fournit les calories nécessaires à la fusion, et le four est entretenu à une température constante par un courant d'eau qui absorbe un grand nombre des calories dégagées par la combustion, trop parfois. Dans ces conditions, le second soufre doit brûler moins vite que le premier. Mais comme alors il demande moins d'air dans le même temps, le rendement par heure est de beaucoup diminué.

Il en résulte que tous les soufres sont bons pour produire le gaz sulfureux, mais qu'il faut régler les fours et l'injection d'air en conséquence. Seulement la première variété est la meilleure, parce qu'elle réclame moins de surface de combustion, et par conséquent des fours moins encombrants. Et quand un constructeur vend un four capable de brûler par exemple 10 kilogrammes de soufre à l'heure, il doit dire quel soufre on doit brûler sur sa sole pour obtenir le résultat désiré. Et réciproquement quand un consommateur ne dispose que de soufres du second genre, il doit commander une plus grande surface de fours, tout en conservant la même pompe pour l'injection de l'air.

Nous avons observé ces faits en Russie, où nous consommions du soufre de première qualité fourni par la maison Martine, et du soufre d'origine inconnue (allemand ou russe) fort mal moulé d'ailleurs. Nous avions un four Messian et des fours allemands très ordinaires. Nous n'avons jamais pu mettre d'accord ni le rendement du four Messian, ni la vitesse du compresseur avec les données fournies par le constructeur, tant était grande la différence de combustion des deux soufres. Il nous fallait une surface de four considérable, et il était impossible de brûler concurremment les deux soufres même dans des fours séparés.

G. Martine, que nous avons consulté sur ce sujet, nous a fait les déclarations suivantes :

« L'analyse du soufre, quelque favorable qu'elle soit, ne préjuge pourtant rien au point de vue de l'action du produit.

« Des soufres, de pureté égale, brûlant également bien, ont donné les uns des résultats excellents, et les autres de mauvais ou nuls.

« Notre soufre K* R exige largement la quantité théorique d'air, tandis

que l'échantillon de fabrication russe ou allemande que vous nous avez confié n'exigerait qu'une quantité d'air beaucoup moindre.

« Vous nous demandez si un excès d'air ne peut entraîner de la vapeur de soufre sans le brûler. Nous répondrons : il y a dans la fabrication de l'acide sulfureux gazeux deux facteurs importants : l'alimentation d'air, et le refroidissement de l'appareil. Or, il faut une certaine pratique, pour bien régler ces deux facteurs et obtenir le maximum d'effets :

« 1° Donner une quantité d'air trop forte en même temps qu'on refroidit trop le four, donne pour résultat un abaissement de la température des flammes, leur extinction partielle, et production de simples vapeurs de soufre qui déposent du sublimé dans les conduites et les obstruent ;

« 2° Donner une quantité d'air trop forte tout en maintenant le four à une température aussi élevée que possible (l'eau de la bêche étant bouillante) donne une combustion excellente, mais produit SO² trop pauvre. Si la quantité d'air était par trop forte, il y aurait malgré cela une légère sublimation, à moins d'insuffler de l'air chaud ;

« 3° Donner une quantité d'air insuffisante, donne évidemment une combustion imparfaite, surtout si le refroidissement de l'appareil est trop grand, car dans ce cas il y a souvent extinction totale ;

« 4° Donner une quantité d'air insuffisante avec un refroidissement incomplet produit une mauvaise combustion accompagnée d'une abondante sublimation.

« En résumé, le meilleur résultat s'obtient en donnant une quantité d'air amplement suffisante et en refroidissant le moins possible le four. Nous sommes même ennemis de ce refroidissement. Mais dans les appareils usités on est obligé de le faire pour empêcher la détérioration du métal. Il faudrait donc seulement empêcher celui-ci de rougir.

« De cette façon le soufre brûle avec intensité, et, lorsqu'il est aussi pur que nos canons K*R, il ne doit laisser aucun résidu apparent. »

Nous avons cité textuellement la communication de G. Martine, car elle est marquée au sceau de l'exacte compréhension du sujet, et elle donne des règles parfaites pour la conduite des fours.

APPAREILS PRODUCTEURS D'ACIDE SULFUREUX

Pour produire l'acide sulfureux au moyen du soufre, il faut d'abord chauffer le soufre, le porter à l'état de vapeur, et enflammer cette vapeur en lui fournissant la quantité d'air nécessaire à la combustion. Enfin,

il faut éviter que la flamme de soufre soit portée à la température de sa dissociation.

Les fours à produire l'acide sulfureux se composent généralement d'une chambre en fonte dans laquelle on allume le soufre.

L'air nécessaire à la combustion y est fourni soit par la compression d'une pompe, soit par l'aspiration d'une trompe, ou d'un espace où l'on fait préalablement le vide. D'où deux méthodes distinctes, dont la première est la plus répandue, comme plus facilement réalisable mécaniquement, mais dont la seconde a certainement plus d'avantages au point de vue de la bonne combustion du soufre.

D'après ce que nous avons vu précédemment, l'air doit affluer en quantité suffisante pour brûler exactement le soufre. Si l'on en envoie trop peu, une partie de la vapeur de soufre ne brûle pas et se sublime ; si l'on en envoie trop, le gaz est pauvre, ce qui est mauvais pour le travail. Mais il y a plus ou moins de sublimation.

Les fours doivent donc être tous munis de *sublimateurs*, ou réservoirs refroidis où se condense la vapeur de soufre non brûlée.

Mais le soufre brûlant sur une grande surface, celle de la coupelle qui le contient, il faut que l'air afflue dans le four de telle sorte qu'il se répande sur toute cette surface à la fois.

Si l'air arrive naturellement par aspiration directe, cette condition est facile à réaliser en lui laissant une ouverture d'entrée suffisante ; mais si l'on se sert de pompe qui envoie l'air par un tuyau dans le four, il faut certaines précautions.

On ne doit pas l'introduire par une tuyère soufflant sur la surface du soufre, à moins qu'il ne soit très divisé en lame mince, couvrant toute la superficie de la masse en ignition. Car, s'il arrive en un seul point, à ce point la combustion est vive et brillante, la température s'approche de celle de la dissociation et il se forme de l'acide sulfurique.

Pour obvier à cet inconvénient, on dirige généralement le jet d'air sous la coupelle qui contient le soufre, de manière à ce qu'il se répande indirectement sur le soufre en parcourant toute la chambre de combustion.

Dans ce cas, il est indispensable qu'il y ait au-dessus de la coupelle un espace suffisant pour le brassage des gaz, sinon la combustion se fait seulement sur les bords de la coupelle et y est trop vive, cause de formation de l'acide sulfurique, tandis que le milieu laisse échapper de la vapeur de soufre non brûlée qui se sublime.

Il est indispensable que l'air arrive absolument sec, car la présence de l'humidité dans l'air est encore une cause de formation d'acide sulfurique (1), non plus par dissociation, mais par oxydation directe.

1. Priestley et Berthollet ont fait voir qu'*au rouge* on a $3\text{SO}_2 + 2\text{H}^2\text{O} = (2\text{SO}^2\text{H}^2) + \text{S}$.

Quand on a produit de l'acide sulfureux, il faut le débarrasser de l'acide sulfurique qu'il contient toujours en plus ou moins grande quantité. Cet acide sulfurique est à l'état d'anhydride. Il suffit donc de laver le gaz dans l'eau pour que cet anhydride s'y dissolve immédiatement en se combinant avec elle. Par surcroît de précaution, comme le gaz entraîne toujours avec lui du liquide dans lequel il a barboté, on peut le faire passer finalement sur de la craie pour retenir les dernières traces d'acide sulfurique.

Enfin, le gaz sulfureux doit être suffisamment refroidi avant d'entrer en contact avec les liquides sucrés.

Telles sont les conditions générales de bonne production de gaz sulfureux. Nous allons maintenant examiner les appareils des différents constructeurs, et nous verrons comment chacun a cherché la résolution de ce problème assez compliqué.

Nous ne parlons que de quelques fours français, ou que l'on peut se procurer en France, car tous ceux que nous avons vus à l'étranger n'apportent aucune amélioration à ceux qui feront l'objet de ce travail. Il est donc inutile d'aller chercher ailleurs ce qui est aussi bien chez nous.

Appareil Vivien et Messian (fig. 59). — Nous examinerons d'abord le four de Vivien et Messian, car il paraît être le plus ancien en date. Il remonte en effet à 1880, époque à laquelle l'acide sulfureux faisait ses premières apparitions en France sous les auspices de Vivien lui-même.

Ce four, tel qu'il est aujourd'hui, diffère des premiers modèles en bien des points. C'est l'ensemble des perfectionnements que la pratique a enseignés aux inventeurs que nous voyons dans l'appareil de 1889.

Le four se compose d'une caisse en fonte de forme extérieure presque cubique, surmontée d'un réservoir contenant de l'eau de refroidissement. Dans cette caisse munie d'une large porte de chargement avec regard, une cuvette en fonte mobile contient le soufre.

L'air est refoulé dans la caisse par un tuyau placé sur la face opposée à celle du chargement, tout en bas, mais au ras de la sole. De la sorte, ce tuyau ne peut s'obstruer, et l'air se répand sous la cuvette et non à la surface directe du soufre.

La face supérieure de la caisse, autrefois horizontale, est maintenant surbaissée d'arrière en avant, sa partie la plus basse arasant presque la cuvette, et de là remontant jusqu'en haut de la porte de chargement. C'est dans cette partie remontante que se trouve le trou de sortie du gaz sulfureux.

Si nous arrêtons là notre description, nous y avons tous les éléments du four à combustion proprement dit.

Nous voyons de très bonnes dispositions dans cet ensemble.

L'air n'arrive pas directement sur le soufre en ignition : il se répartit au contraire dans la chambre de combustion, en passant tout autour de la cuvette où brûle le soufre. La chambre de combustion, de son côté, est

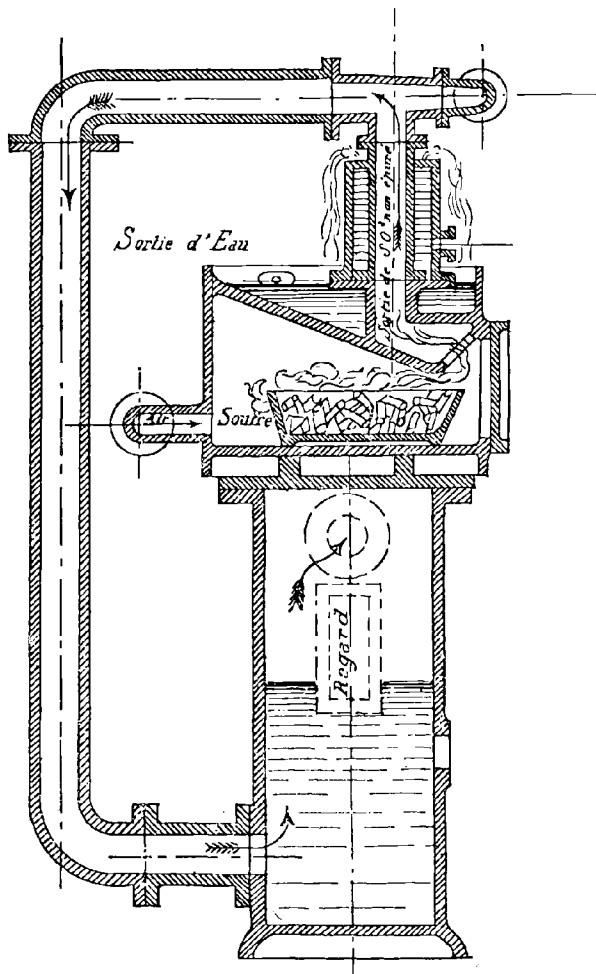


Fig. 59.

grande, suffisamment pour que l'air y possède une faible vitesse et puisse atteindre, par brassage des gaz, les vapeurs de soufre sortant du centre de la cuvette. Enfin cet air chargé d'acide sulfureux, avant de sortir du four, arase une couche de soufre en combustion, ce qui permet aux dernières traces d'oxygène de se combiner au soufre et de produire

un gaz riche. Si le compresseur est bien réglé, il ne doit y avoir dans ces conditions que très peu de sublimation.

Le reste de l'appareil possède des détails également intéressants.

Le gaz sulfureux traverse d'abord un large espace refroidi par l'eau du réservoir placé sur le fourneau, puis un tuyau vertical refroidi également et servant de sublimateur. Ce tuyau, en effet, est entouré d'un manchon en fonte au bas duquel arrive l'eau froide. Cette eau déborde par le haut et tombe dans le réservoir placé sur le fourneau, d'où un trop plein l'évacue dehors. Le refroidissement est ainsi très facile à diriger.

Le gaz sulfureux se rend ensuite dans un réservoir d'eau où il se lave par barbotage.

Ce réservoir est un cylindre vertical qui sert de soubassement au four lui-même. Le gaz arrive par le bas sur le côté, et sort par le haut pour se rendre aux chaudières de sulfitation. Une grande lunette rectangulaire permet de voir le niveau du liquide dans le réservoir, niveau que l'on règle avec des robinets d'entrée et de sortie d'eau.

Le tout forme un appareil complet et tenant très peu de place.

Lorsqu'on arrête le four et qu'on l'ouvre pour charger, chacun sait l'inconvénient qu'éprouvent les hommes de recevoir dans la figure une bouffée de gaz sulfureux fort pénible à supporter. Pour l'éviter, on attend ordinairement quelques minutes que le gaz se soit absorbé ou refroidi ; bref, on perd du temps souvent précieux.

Le four Vivien et Messian remédie à cet inconvénient d'une manière radicale par une disposition heureuse dont nous n'avons trouvé l'équivalent dans aucun autre, sauf le four Vonhof.

Tout en haut de l'appareil, sur le tuyau sortant du sublimateur, se trouve un *aspirateur* à injection de vapeur. Cet aspirateur est un injecteur ordinaire qui aspire dans le fourneau et refoule au dehors de l'usine dans l'atmosphère.

Au moment où l'on veut charger la cuvette avec du soufre nouveau, on ferme le compresseur, on ouvre l'aspirateur, et l'on peut immédiatement charger. Les ouvriers apprécient beaucoup ce petit détail, qui est un véritable soulagement pour eux.

Vivien et Messian font remarquer que les points les plus saillants de leur appareil sont : 1° sa grande simplicité, permettant de le mettre dans toutes les mains ; 2° la commodité du chargement à cause de l'injecteur ; 3° le lavage du gaz combiné au besoin avec le passage sur la chaux pour enlever l'acide sulfurique, recommandé par Vivien dès 1880.

Entre le compresseur et le four, les inventeurs recommandent l'interposition d'un cylindre vertical rempli de chaux vive pour dessécher

l'air. C'est à grand tort qu'on ne le rencontre pas dans toutes les installations.

En résumé, le four Vivien et Messian offre de réels avantages et leur dernier modèle est bien étudié.

Appareil Lacouture. — L'appareil Lacouture (fig. 60) présente plusieurs types d'installations complètes de fabrication d'acide sulfureux, réunissant sur le même bâti le sécheur d'air, le four sublimateur et le laveur, même dans quelques-uns la pompe de compression, le tout dans un espace extrêmement restreint.

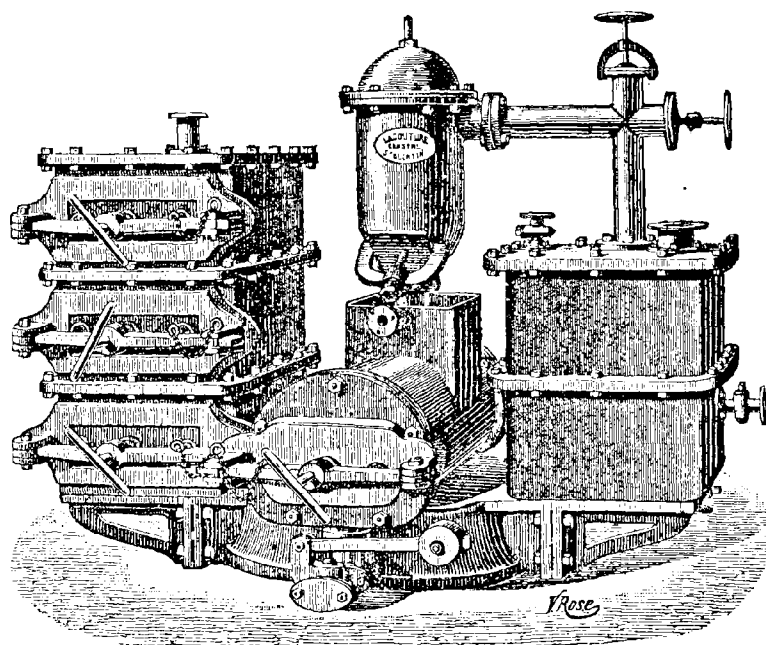


Fig. 60.

Lacouture a construit des appareils plus importants, pour grande consommation de gaz sulfureux, comportant deux fours accouplés avec tous leurs organes accessoires. Ce sont de petites usines complètes, montées sur un socle unique, où pas un espace n'est perdu.

Le four proprement dit se compose d'une cornue en fonte D (fig. 61) ayant la forme d'une cornue à gaz et surmontée de son réservoir d'eau refroidisseur E.

Dans l'intérieur, on introduit une cuvette en fonte contenant le soufre et glissant sur des sommiers venus de fonte avec le four. Un regard

placé en avant et en haut de la cornue permet de suivre l'opération et aussi d'allumer sans ouvrir la porte de chargement (1).

A l'avant de la cuvette contenant le soufre se trouve un espace vide, sur toute la largeur, surmonté d'une sorte de couvercle arasant, sans le toucher, le bord du réservoir à soufre. C'est dans cet espace qu'arrive l'air du compresseur. Cet air se répartit donc sur toute la largeur de la cuvette en lame mince, projetée ainsi mécaniquement sur la surface en ignition. C'est tout ce qui constitue le moyen de brassage du gaz, car il y a très peu de hauteur au-dessus du soufre, peut-être trop peu.

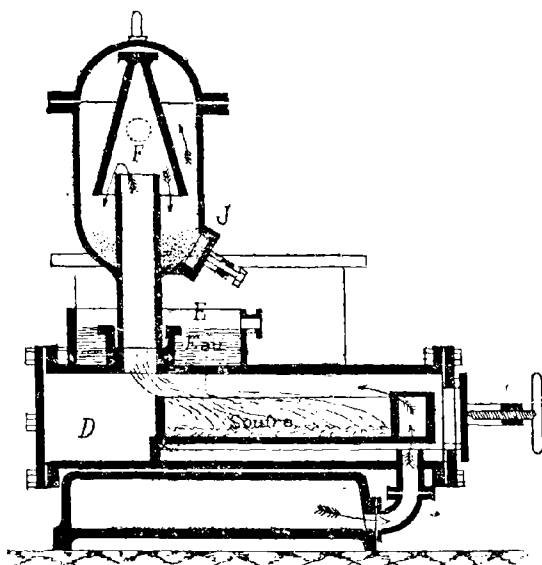


Fig. 61.

D'ailleurs, pour forcer le gaz à rester le plus longtemps possible en contact avec le soufre, le tuyau d'évacuation d'acide sulfureux pénètre à l'intérieur de la cornue à peu de hauteur au-dessus du soufre. Ce tuyau est placé, naturellement, à l'extrémité opposée à l'arrivée de l'air et verticalement sur la cornue. Il se prolonge ensuite dans l'intérieur d'un vaste sublimateur F.

Le sublimateur est très puissant. C'est un cylindre en fonte muni d'une porte de décharge en bas et d'un tuyau d'évacuation latéral en haut. Le gaz sulfureux y pénètre par le tuyau vertical dont nous avons parlé, se prolongeant presque jusqu'en haut, et brise son mouvement

1. Le dessin que nous donnons ne représente pas exactement les dernières dispositions adoptées par Lacouture.

dans une espèce d'entonnoir renversé qui retient par choc les impuretés entraînées. La partie supérieure du sublimateur est quelquefois refroidie.

De là, le gaz sulfureux pénètre dans un laveur barboteur G (fig. 62) après avoir traversé un nouveau sublimateur refroidi par un courant d'eau.

L'air du compresseur, avant de pénétrer dans le four, traverse une chambre verticale à trois étages B, chacun de ces étages étant formé par des tiroirs à fonds perforés, sortes de caisses contenant de la chaux vive. L'air est obligé de traverser ces trois couches de chaux avant d'entrer dans le socle de l'appareil qui sert de réservoir pour amortir les coups de

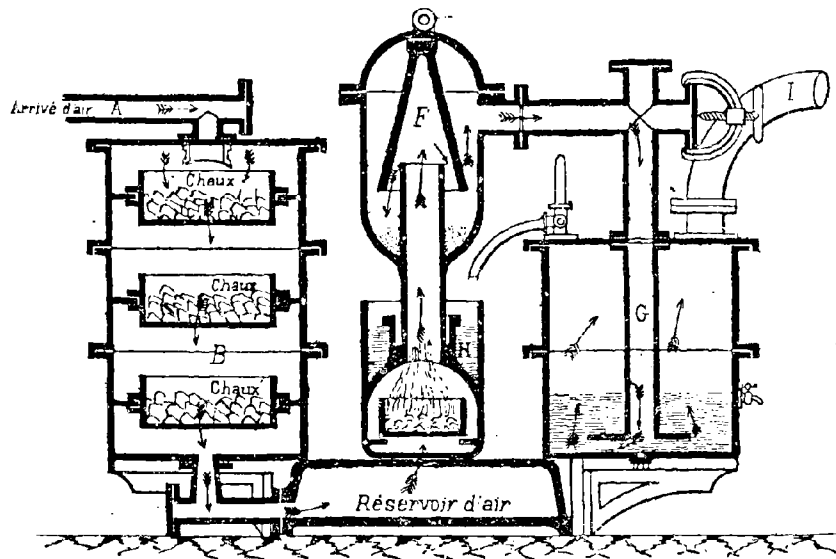


Fig. 62.

pompe. Les tiroirs peuvent naturellement se retirer pour changer la chaux.

Au sortir du socle, l'air, avant d'entrer dans le four, soulève une sou-pape chargée qui règle le débit nécessaire à la combustion.

Indépendamment de ce séchage de l'air entre la pompe et l'appareil, Lacouture installe un séchage préalable avant l'aspiration. Et, en effet, nous avons remarqué souvent en temps de fabrication, lorsque l'air est chargé de brouillards, soit naturellement, soit par l'effet des vapeurs de l'usine, que la pompe en absorbe une quantité suffisante pour gêner son rendement. Car ce brouillard, qui est de l'eau liquide, entre en vapeur par l'effet de l'élévation de la température dû à la compression, et occupe un volume considérable dans l'air que l'on injecte.

Lacouture, à cet effet, a agencé une caisse en bois remplie de chaux,

que l'air traverse avant d'aller au compresseur. Cette caisse est disposée de façon à pouvoir être remplie et vidée facilement, avec une hauteur suffisante pour que son travail soit réellement effectif.

On voit que dans toute cette installation aucun détail n'a été négligé. Il en est de même de beaucoup d'autres très intéressants que nous sommes obligés de passer sous silence pour ne pas allonger outre mesure cette notice, et qui montrent chez l'inventeur une longue pratique de ces appareils dans lesquels il a cherché à parer à la plupart des inconvénients inhérents à la manipulation du gaz sulfureux.

Dans les grandes installations où plusieurs fours doivent être accouplés, l'aménagement des fours et de leur réfrigérant diffère un peu pour faciliter le service et rapprocher les fourneaux. Un seul dessiccateur de grande dimension reçoit l'air du compresseur, et cet air est distribué par un tuyau passant sur le front des fours, au ras du sol. Les réfrigérants-barboteurs sont à la suite des fours. Dans ce cas, on a abandonné la construction du bâti unique. Le tuyau collecteur d'évacuation de gaz sulfureux passe derrière. Cet ensemble est très bien compris.

Appareil Vonhof. — Le four Vonhof (fig. 63) construit par la maison

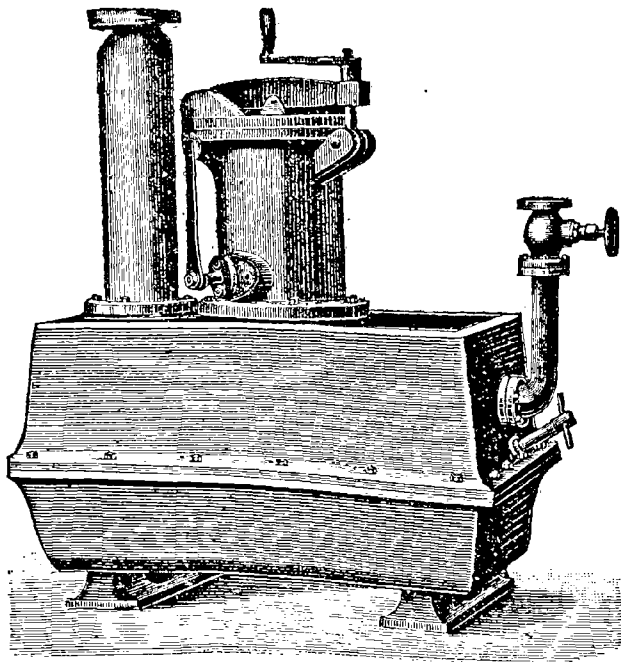


Fig. 63.

Mariolle-Pinguet et fils, de Saint-Quentin, diffère un peu des précédents.

C'est une cuve quadrangulaire (fig. 64 et 65) à angles arrondis, dans laquelle on met directement le soufre. Sur les bords de cette cuve, formant brides, on boulonne une autre caisse *d* renversée en guise de couvercle et à peu près de même forme que la première, et qui comporte toutes les armatures nécessaires à la marche de l'appareil. Sur ce cou-

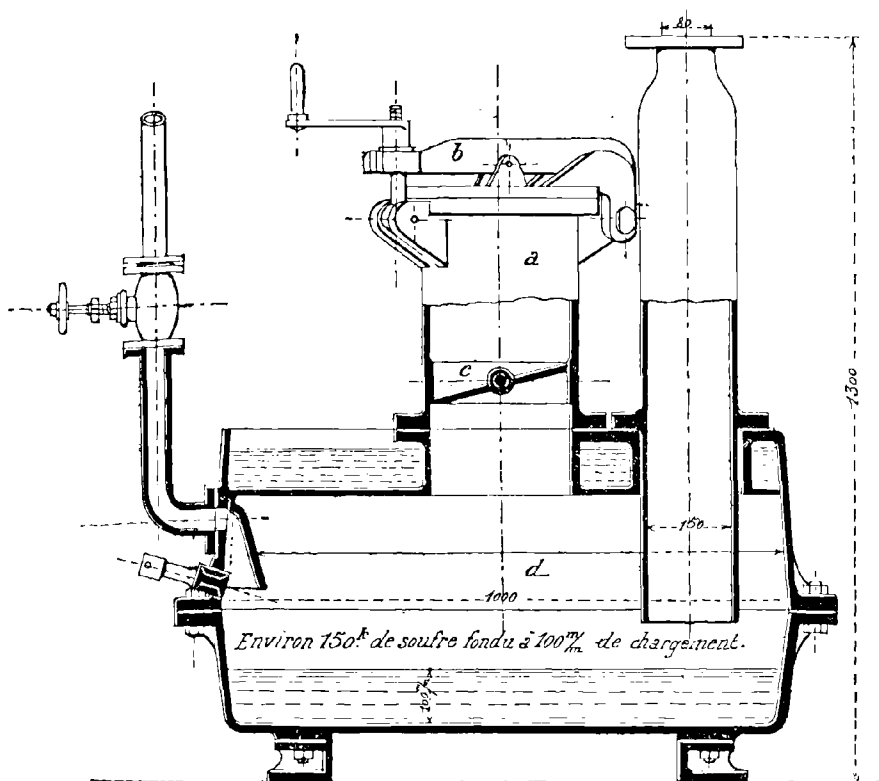


Fig. 64.

vercle, et venue de fonte avec lui, est une cuve à eau pour le refroidissement.

L'air arrive dans la cuve en haut de la face d'avant ; à l'intérieur, un volet en fonte rabat et disperse cet air sur la surface du soufre en ignition. Un trou muni d'un bouchon est au-dessous de l'arrivée d'air pour l'allumage.

Le gaz sulfureux s'échappe à l'autre extrémité par un large tuyau, formant sublimateur, qui traverse verticalement le couvercle et dont le

bord inférieur est peu élevé au-dessus du niveau du soufre, pour forcer les dernières portions d'oxygène à se combiner à celui-ci.

L'ensemble forme une vaste chambre de combustion où le brassage des gaz peut se faire tout à l'aise.

Le plus grand inconvénient des fours est leur chargement alternatif,

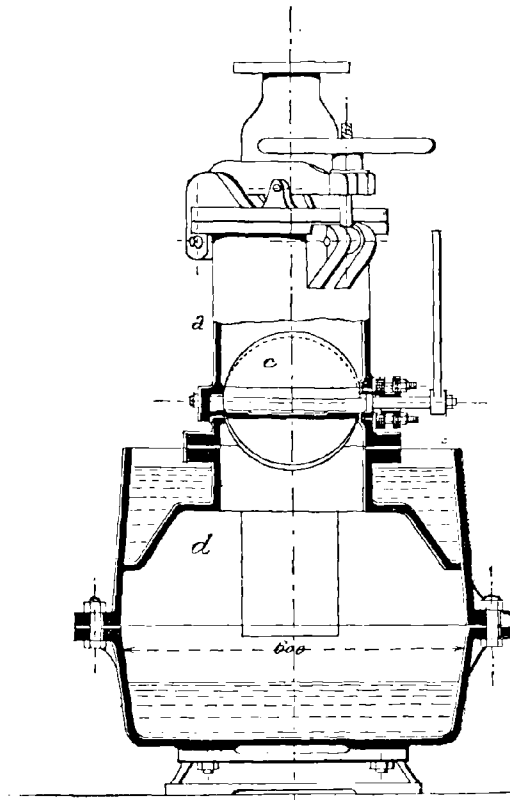


Fig. 65.

qui force à arrêter le travail et qui est pénible pour les ouvriers. L'inventeur a appliqué un moyen commode de faire les charges en marche.

Au centre du couvercle, à la partie supérieure, se trouve une vaste trémie cylindrique à parois verticales *a*, fermée hermétiquement par en dessus au moyen d'un couvercle retenu par un étrier *b*.

A l'intérieur de cette trémie, dans le bas, on a placé un papillon *c*, mû de l'extérieur, et qui la ferme aussi hermétiquement que possible.

Pour charger, on ferme le papillon, on ouvre le couvercle, on jette

dans la trémie la charge de soufre et l'on remet le couvercle. Ces opérations terminées, on bascule le papillon et la charge de soufre tombe dans le four.

L'ensemble de cet appareil est très bien compris. La charge du four en marche se recommande particulièrement aux fabricants.

Ceux qui l'ont employé en disent beaucoup de bien.

Appareil Quarez (fig. 66). — Tous les appareils que nous venons de décrire sont à compresseur d'air. Ceux qui vont suivre sont à aspiration du gaz sulfureux par une trompe.

Nous avons dit que les fours à aspiration étaient plus faciles à diriger que les autres. Outre cela, les fours à compression ont de graves inconvénients. La moindre fuite qui se déclare sur les joints est une cause de souffrance pour le personnel; aussi l'on sait avec quel soin on est obligé de surveiller la confection des joints! Ces joints eux-mêmes, que l'on doit refaire si souvent, sont un ariá dont on serait bien aisé d'être débarrassé.

Lorsque l'on doit charger, il faut tout arrêter, ouvrir le four avec précaution pour ne pas recevoir le gaz dans les

yeux et les narines, attendre que le four soit abordable, enfin recharger, refaire les joints et rallumer le soufre. Tout cela est pénible et long. Si l'on n'a pas de four de rechange, on perd du temps; en tout cas, les ouvriers s'arrangent-ils pour faire la corvée le moins souvent pos-

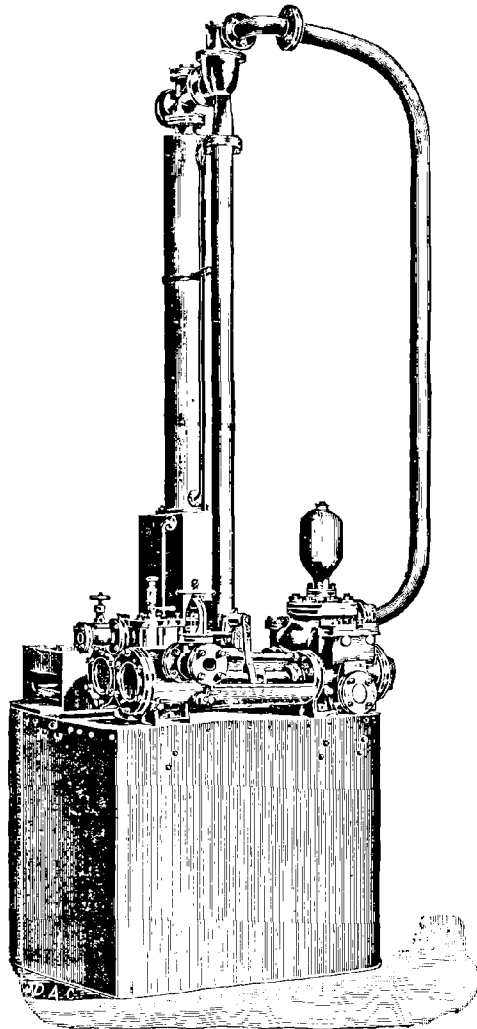


Fig. 66.

sible, bourrant leur four à déborder au début, et le laissant brûler le plus longtemps possible à la fin.

Il en résulte une combustion irrégulière, un gaz sulfureux de richesse variable, diminuant de plus en plus, d'où irrégularité dans le travail. Ce sont des faits que tout le monde connaît.

Avec les systèmes à aspiration, rien de tout cela n'arrive. Le four n'étant pas clos, et tous les gaz étant continuellement aspirés par la trompe, on peut surveiller la combustion du soufre à chaque instant, recharger par petites portions pour entretenir sans cesse le feu semblable à lui-même, d'où régularité parfaite dans la teneur du gaz, et par conséquent, travail facile à conduire.

L'un des premiers qui ait employé, en sucrerie, l'aspiration fut Seyfert (1).

Vivien et Messian en 1881 avaient construit un appareil à sulfiter composé d'un four ouvert, le même que celui que nous avons décrit, placé sur une chaudière close où entrait le liquide à sulfiter, et dans laquelle on entretenait un vide relatif qui faisait appel du gaz sulfureux, et par conséquent de l'air nécessaire à la combustion.

Quarez en 1892 a repris la même idée, mais autrement, en résolvant le problème de la manière très élégante que nous allons décrire.

L'appareil Quarez se compose d'un four à air libre dans lequel se fait l'aspiration d'une trompe analogue à celles usitées dans les laboratoires. Le liquide qui est injecté dans la trompe est le jus ou sirop lui-même que l'on veut sulfiter. La sulfitation se fait donc dans la colonne descendante de la trompe.

En sorte que tout le système se résume en un four ouvert, une trompe dont la colonne descendante plonge dans un bac, et une pompe quelconque pour aspirer le liquide à sulfiter et le refouler dans la trompe.

C'est donc une usine complète de sulfitation réduite à sa plus simple expression et sous un volume absolument restreint.

Nous allons maintenant en étudier les détails de construction.

Le four est une chambre parallélépipédique F (fig. 67) contenant la coupelle où brûle le soufre. Une porte suffisamment étanche permet d'introduire le soufre. L'air arrive par en dessous en traversant une autre chambre contenant de la chaux vive pour le dessécher, et séparée en compartiments chicanés de manière que l'air traverse l'épaisseur de la chaux un grand nombre de fois. La chaux se trouve dans des caisses en tôle que l'on change avec la plus grande facilité.

Au-dessus de la chambre du four, et venu de fonte avec elle, est le

1. Berzélius indique, comme méthode courante, le procédé d'aspiration pour la préparation des sulfites alcalins.

réservoir d'eau de refroidissement G, en même temps que l'amorce du sublimateur. (Celui-ci est parallélépipédique, tient toute la largeur du four, et est garni intérieurement d'une chicane en forme de faitière. Des regards permettent le nettoyage.

Puis le gaz traverse un long tuyau vertical qui se termine à la trompe.

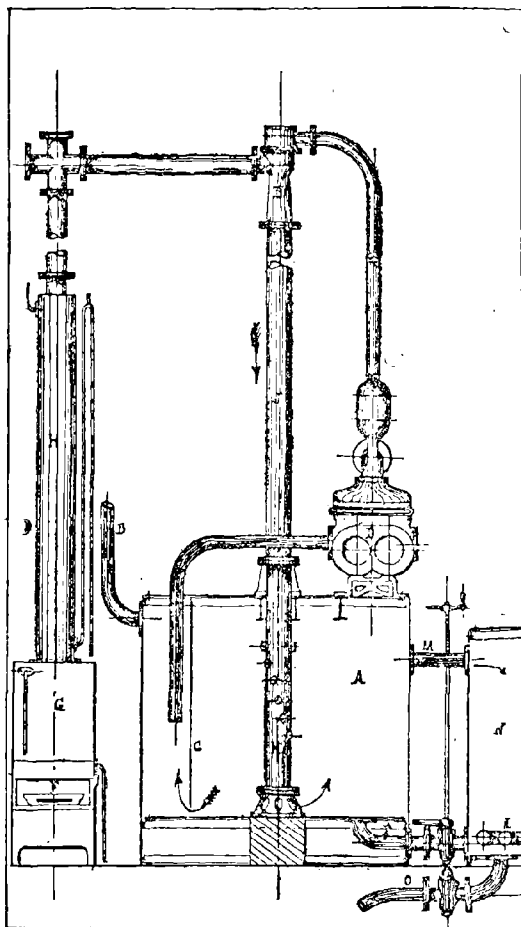


Fig. 67.

Le tuyau vertical est entouré d'un manchon H dans lequel circule de l'eau froide de bas en haut. Cette eau s'écoule dans un réservoir qui surmonte le sublimateur, et enfin se déverse dans la cuve surmontant le four, pour être évacuée définitivement dehors. La réfrigération du gaz est donc très bonne.

La trompe E se compose d'une enveloppe en fonte, ayant la forme de

deux troncs de cône renversés, comme tous les injecteurs, dans laquelle le gaz arrive latéralement. Au centre, une tuyère amène le liquide à sulfiter qui y est refoulé sous la pression que lui communique la pompe.

Le liquide et le gaz se précipitent dans un tuyau vertical de 2 à 3 mètres de hauteur J, qui plonge par le bas dans un bac, et se termine par une sorte de crépine divisant fortement liquide et gaz y arrivant ensemble.

Dans la partie de la colonne K qui plonge dans le bac se trouve une série d'entretoises échelonnées en pas d'hélice qui brisent la veine et forcent le gaz à s'assimiler plus complètement au liquide.

Une pompe ordinaire quelconque D reprend le liquide dans le bac et le remonte en haut de la trompe de manière à ce qu'il puisse repasser plusieurs fois par la trompe, jusqu'à ce qu'il soit arrivé au point de sulfitation désiré.

Quarez a divisé ce bac en deux compartiments inégaux communiquant par le bas : dans l'un, le plus grand, A, plonge la colonne barométrique ; dans l'autre arrive par en haut le liquide à sulfiter. C'est là aussi que prend la pompe. Un trop-plein M en haut du grand compartiment évacue le liquide sulfité.

Dans ces conditions la pompe aspire du liquide non sulfité, ou à peine sulfité, et l'envoie dans la trompe. On règle donc l'arrivée du liquide non sulfité et la vitesse de la pompe de manière qu'au trop-plein il coule du liquide sulfité au point voulu.

Il se passe dans la colonne un phénomène sur lequel il faut arrêter notre attention.

Au bas de la colonne, il y a une pression égale à celle que communique la hauteur du liquide et la pression de la pompe. C'est donc sous pression que se fait la sulfitation, condition excellente pour la rendre plus efficace.

Mais, lorsque le liquide sulfité arrive dans le bac, la pression cesse, et les gaz associés à l'acide sulfureux, azote et air en excès, dissous aussi à la faveur de la pression ou fortement mélangés par les chicanes, s'échappent en bulles microscopiques, en sorte que lorsqu'on prélève un échantillon du liquide, il paraît trouble par la présence des bulles de gaz, et ne reprend sa limpidité qu'à la longue.

L'appareil Quarez est donc très simple, très efficace, très économique au point de vue de la quantité de soufre brûlée, parce que l'on ne perd jamais de gaz par fuite ou au moment du chargement, et aussi parce que tout le soufre brûle dans la coupelle régulièrement, sans refroidissement brusque qui en change la nature et en rend la combustion difficile, comme cela se passe dans les fours intermittents.

A cause de cette régularité de la combustion à air libre, Quarez n'a jamais constaté dans le gaz obtenu des traces suffisantes d'acide sulfurique pour en nécessiter le lavage, le gaz lavé de n'importe quel appareil contenant toujours des traces d'acide sulfurique entraînées.

De plus, la consommation du soufre est proportionnelle à l'aspiration de la trompe, proportionnelle elle-même à la quantité de liquide à sulfilter qui y passe, et elle se règle d'elle-même en même temps que l'on règle le débit de la pompe. Enfin il n'y a jamais de perte d'acide sulfureux par un excès de production qui s'échappe à la surface du bac, toutes causes d'économie de soufre.

Quant à l'encombrement causé par le matériel, il est aussi faible que possible. Ainsi, pour traiter le sirop de 300 tonnes de betteraves par 24 heures, Quarez installe tout son appareil sur un bac, comme on le voit figure 10, de 1^m,200 de côté. Sur le couvercle du bac se trouve le four et la pompe, en sorte que sur un espace de 1^m,200 en carré, avec une hauteur de 4^m,50, on a toute son installation de sulfitation !

Appareil Porak. — Le système Porak, construit par la Compagnie de Fives-Lille, consiste à aspirer le gaz d'un four à acide sulfureux ouvert au moyen d'une trompe à eau saturée d'acide sulfureux. Eau et gaz pénètrent dans un réservoir clos où ils se séparent. L'eau sulfureuse reprise par une pompe revient de nouveau dans la trompe. C'est donc toujours la même eau qui sert. Le gaz s'échappe du réservoir clos par un tuyau sous la pression de la colonne d'eau descendante de la trompe. Cette colonne doit donc être d'une hauteur proportionnée à la pression que le gaz doit vaincre dans les bacs à sulfilter.

C'est exactement le système connu sous le nom de *forge catalane*.

Le système Porak a donc été inventé pour remplacer la pompe de compression des fours par une pompe d'aspiration hydraulique, tout en fournissant à l'industrie l'acide sulfureux à l'état gazeux transportable dans des tuyaux à tous les points où l'on veut l'utiliser. On peut donc l'appliquer à toutes les industries employant l'acide sulfureux à l'état de gaz, que ce gaz provienne de la combustion du soufre ou du grillage des pyrites.

La Compagnie de Fives-Lille a monté l'appareil Porak à la sucrerie d'Abbeville. Trois appareils semblables sont montés côte à côte pour suffire aux besoins de cette importante usine. Nous allons décrire un de ces éléments.

Le four, construit pour brûler 1.000 kilogrammes de soufre en 24 heures, est constitué par une caisse plate en tôle épaisse rivée sur cornières. Cette caisse affecte la forme triangulaire. Elle a 2^m,60 de lon-

gueur, 1^m,45 à la façade par où pénètre l'air sur toute cette largeur, tandis que le gaz sulfureux s'échappe à l'autre extrémité, près de l'angle au sommet du triangle, qui est arrondi suivant la forme de l'orifice de sortie.

Le fond de la caisse est légèrement incliné en avant, tandis que le couvercle est horizontal. Ce couvercle est boulonné pour permettre la visite du four, et surmonté d'une caisse à eau pour le refroidissement.

A l'intérieur de la caisse est une cuvette en tôle épaisse de même forme, dans laquelle on brûle le soufre, ce qui représente une surface d'ignition de 1,80 mètre carré.

En avant, la façade est formée par une tête en fonte présentant, sur toute sa largeur, un volet pour l'entrée de l'air, réglable au moyen de vis de calage.

Le courant d'air arrive donc sur une très grande largeur. Puis le four se rétrécit au fur et à mesure que la quantité d'oxygène est moins grande.

De plus, le soufre fondu coule et se maintient surtout sur le devant du four à cause du fond incliné.

La combustion est donc fort bien entendue dans ces conditions.

La sortie du gaz se fait par l'extrémité rétrécie sur laquelle est boulonnée une pièce de fonte contenant une soupape d'arrêt fort simple. C'est une cloche en fonte qu'on élève ou abaisse au moyen d'une vis et qui vient se reposer, à l'arrêt, dans une rainure assez profonde formant siège. Cette cloche peut se relever très haut pour ne pas faire obstacle à la sortie du gaz, et la vis tourne dans un écrou très surélevé pour être en dehors de l'action de l'acide sulfureux. Une porte latérale permet la visite du siège de cette sorte de clapet.

Le tuyau de sortie, qui a 150 millimètres, est en acier étiré. Le gaz sort du four à 360°.

On le fait passer alors dans un réfrigérant de 20 mètres carrés de surface, constitué par neuf tubes en plomb de 150 millimètres de diamètre, 5 millimètres d'épaisseur, d'une longueur de 4 mètres, et qui baignent dans de l'eau courante. Ils sont placés sur deux rangées horizontales dans un grand bac, et leurs extrémités sortent du bac pour qu'on puisse les visiter et les nettoyer facilement. Ils sont enfin réunis entre eux, deux à deux, par des cuissards alternés pour que le gaz les parcourt sur toute la longueur. Les extrémités sont bouchées avec des tampons en bois.

En sortant de là, le gaz n'a plus que 23 ou 24°. Le soufre sublimé s'arrête surtout dans les tuyaux du haut où arrive le gaz.

Au sortir du réfrigérant, une conduite en plomb antimoné amène le gaz au sommet de la trompe.

La trompe est formée d'une enveloppe conique en plomb antimonié de 5 millimètres d'épaisseur.

Au centre de la base du cône, qui est renversé, se trouve la tuyère par laquelle passe le gaz, tandis que l'eau d'injection arrive par le côté.

La tuyère qui peut avoir 300 à 400 millimètres de longueur, est en plomb ou gutta, ou même en terre ou porcelaine. Son extrémité arrive jusqu'au point le plus rétréci de l'enveloppe de la trompe, laquelle enveloppe s'élargit alors et se continue par un long tuyau vertical formant la colonne barométrique qui provoque l'aspiration.

La longueur de la colonne est proportionnelle, avons-nous dit, à la résistance que le gaz aura à vaincre dans les chaudières de sulfitation.

On a remarqué que pour 4 mètres de hauteur de liquide à sulfiter, une colonne de 7 mètres était suffisante. La Compagnie de Fives-Lille lui a donné 8 mètres au-dessous de l'injecteur.

La colonne a 150 millimètres de diamètre sur 6 millimètres d'épaisseur.

Le bas de la colonne barométrique plonge dans un bac ou tonneau en bois cerclé de fer, et fermé par en haut par un fond étanche, en bois également.

Ce tonneau est à moitié plein d'eau. Un niveau d'eau permet de voir la hauteur du liquide. La colonne barométrique y pénètre par un presse-étoupes. Sur le côté, tout en bas, un tuyau de plomb muni d'un robinet communique avec la pompe qui relève l'eau au sommet de l'injecteur. Un autre robinet, placé en bas, également, permet la vidange du liquide. Ces robinets sont en plomb antimonié.

Enfin, sur le couvercle encore, se trouve un tuyau de 100 millimètres pour l'évacuation du gaz comprimé, passant également par un presse-étoupes.

La pompe doit être également en plomb antimonié. C'est une pompe centrifuge à ailettes. L'axe est en acier recouvert de plomb ou de gutta, jusqu'aux coussinets.

Ici se présentait une difficulté. Le gaz corrodait axe et coussinets. Pour éviter cet inconvénient, les coussinets sont évidés suivant le système Girard, et une pression d'eau plus grande que celle du gaz lubrifie sans cesse le roulement. De la sorte, s'il y a une fuite, un peu d'eau pénètre dans la pompe, ce qui est sans inconvénient, et l'axe est préservé.

La pompe demande une force de 5, 3 chevaux pour la colonne de 10 mètres, et 3, 7 chevaux quand elle n'a que 7 mètres.

L'eau du tonneau étant saturée, tout le gaz s'échappe à la sulfitation.

Cette eau se charge de tout l'acide sulfurique formé pendant la combustion.

On y a retrouvé, en outre, du soufre précipité et des cendres, ce qui prouve que, pendant la combustion, les cendres du soufre se subliment également. Quand cette eau est trop chargée d'impuretés on la change.

Le gaz arrive dans le tonneau en se comprimant. Il s'échauffe donc un peu. Il passe de 22°5 à 29°.

Pour le refroidir encore et retenir les dernières impuretés, on l'a fait passer encore une fois par un réfrigérant semblable au premier, mais n'ayant que 10 mètres carrés de surface. Comme on n'a pas besoin de le visiter, les tuyaux de plomb sont reliés entre eux par des coudes qui sont à l'extérieur de la caisse, et que l'on peut déboulonner au besoin.

La pompe doit être placée au-dessus du niveau de l'eau dans le tonneau, pour qu'on puisse la visiter au besoin sans que l'on soit obligé de vider le tonneau.

Tel est le système Porak, qui se recommande par un certain nombre de qualités impossibles à réaliser avec les pompes à compression : soufre économiquement brûlé, gaz mieux lavé que dans tout autre système, ce qui est d'ailleurs nécessaire en l'absence de toute dessiccation de l'air employé à la combustion, facilité extrême pour la conduite du four, sans danger pour les ouvriers.

Bien monté, le système Porak donne d'excellents résultats, à cause de la pureté de l'acide sulfureux qu'il produit.

Système par injection de vapeur. — Nous venons de voir deux procédés qui aspirent l'acide sulfureux du four à soufre ouvert, au moyen d'une trompe à jus ou à eau.

Il existe d'autres systèmes dans lesquels l'aspiration est effectuée au moyen d'aspirateurs à vapeur.

Au sortir du four à soufre, le gaz se rend dans une sorte de Giffard à vapeur, gaz et vapeurs étant refoulés ensemble dans la cuve à sulfitation.

Ce moyen, qui marche fort bien, d'une installation très simple a l'inconvénient d'ajouter de l'eau, provenant de la vapeur d'injection, dans le liquide à sulfiter.

Nous possédons un dessin d'un appareil de ce système employé à l'île Maurice avant 1888 et conçu par L. Ehrmann. Les résultats ne laissaient, paraît-il, rien à désirer, la vapeur et le gaz sulfureux se condensant ensemble dans le vesou, sans formation d'acide sulfurique (1).

1. Les auteurs s'accordent à dire qu'un mélange de $\text{SO}^2 + \text{O} + \text{H}^2\text{O}$ ne forme d'acide sulfurique qu'avec le temps aux températures ordinaires, et immédiatement au rouge.

Dans le cas présent, le mélange passant presque instantanément du jet de vapeur à la chaudière avec une vitesse de 30 à 40 mètres par seconde (soit une seconde pour parcourir 40 mètres de tuyaux !) il est évident que la notion de temps n'existe pas, ce qui explique l'absence de formation d'acide sulfurique.

Dans certains cas, ce montage peut rendre des services, et serait même le plus pratique si l'on ne craignait pas d'ajouter un peu d'eau dans les sirops.

POMPES DE COMPRESSION

Les pompes de compression doivent remplir les mêmes conditions de construction que les pompes à faire le vide, c'est-à-dire que l'on doit y réduire le plus possible les espaces nuisibles et accélérer, autant que faire se peut, la fermeture des conduites d'aspiration et de refoulement, de manière que cette fermeture coïncide exactement avec l'arrivée à bout de course du piston. Enfin, la vitesse d'écoulement de l'air comprimé doit être faible et les orifices ne doivent pas, en fin de course, présenter d'étranglements capables d'accélérer par trop cette vitesse.

Une dernière condition, qui n'existe pas dans les pompes à air, est la nécessité de refroidir le cylindre et ses armatures qui s'échauffent sous l'effort de la pression.

Les pompes à compression sont de deux systèmes, à clapets ou à tiroirs.

Avec les pompes à clapets on ne peut avoir de grandes vitesses à cause de l'inertie que les clapets opposent à la fermeture. Il faut leur donner le temps de se fermer, et, même lorsqu'ils sont mus automatiquement, la hauteur indispensable de la levée est un obstacle à la rapidité de fermeture.

Les pompes à tiroirs n'offrent pas ces inconvénients au même degré, la rapidité de couverture des lumières pouvant être considérable. On peut donc leur donner beaucoup plus de vitesse et, conséquemment, un moindre volume.

Cependant, les pompes à clapets étant d'une construction plus simple, s'échauffant moins à cause de leur moindre vitesse, et demandant moins de surveillance peut-être, sont souvent préférées dans le cas qui nous occupe, la quantité d'air dont on a besoin et la pression qu'elle doit supporter n'étant pas très importantes.

Dans les grandes installations, les pompes à tiroirs sont préférées, les autres présentant alors un encombrement plus considérable, parfois des dimensions dispendieuses.

Pour nous rendre compte des principes qui précèdent, nous allons étudier une des meilleures pompes à compression, et, de son examen, tirer les conclusions que comporte le sujet.

Avant d'aller plus loin, nous dirons que la vitesse de l'air dans les tuyaux ne doit pas dépasser 20 mètres, et que, dans les étranglements,

elle ne doit pas être de plus de dix mètres. Ces vitesses assurent une marche suffisante des machines, et, lorsque l'on peut les réduire encore, surtout dans le passage des clapets ou des lumières, le rendement n'en est que meilleur.

Pompe Burckhardt et Weiss (construite par Messian-Lengrand). — Lorsque le piston arrive à bout de course, les espaces nuisibles sont remplis d'air comprimé. Cet air comprimé se détend aussitôt que le piston fait son mouvement arrière, jusqu'à ce qu'il reprenne la pression atmosphérique. Alors, seulement, commence l'aspiration.

On conçoit que la portion de la course du piston, nécessaire pour que l'air des espaces nuisibles reprenne sa pression normale, est complètement perdue, et qu'à chaque révolution le même phénomène se produira deux fois, soit à chaque extrémité du cylindre.

Si l'on pouvait supprimer les espaces nuisibles, l'aspiration commencerait aussitôt le mouvement de recul du piston.

Un autre moyen de parer aux inconvénients des espaces nuisibles qu'il est mécaniquement impossible de supprimer complètement, serait de faire échapper dehors l'air comprimé des espaces nuisibles aussitôt la fermeture du conduit de refoulement. L'aspiration commencerait alors également au moment précis du recul du piston.

C'est le problème qu'ont résolu les inventeurs de la pompe Burckhardt et Weiss.

Cette pompe est à tiroir. Mais la coquille a une forme spéciale.

Elle est assez épaisse pour que l'on ait pu ménager, à l'intérieur, un canal circulaire n'ayant pour toute issue que deux ouvertures sur la glace en des points que nous allons déterminer, à droite et à gauche de la cavité centrale.

La distribution se fait comme dans toute machine à tiroir, la glace recouvrant complètement les deux orifices de distribution quand le piston est à fin de course. Dans cette position, les deux ouvertures dont nous venons de parler sont en face des orifices de distribution et tangentes toutes deux au rebord intérieur de ces orifices. Il en résulte que les deux extrémités du cylindre communiquent à ce moment entre elles par le petit canal réservé dans l'épaisseur de la coquille.

Dès lors, l'air comprimé des espaces nuisibles qui se trouve entre le piston à fin de course et le fond du cylindre passe de l'autre côté, et l'inconvénient qui résulterait de la présence de cet air comprimé est supprimé.

D'ailleurs, grâce à la petite dimension des ouvertures correspondant avec le petit canal, et à leur position tangente aux orifices de distribu-

tion, cette communication ne dure qu'un instant très court, suffisant pour l'échappement de l'air comprimé et ne troublant en rien le travail de compression qui commence sur l'autre face du piston.

De plus, l'excentrique qui commande le tiroir est calé avec un peu d'avance, calculée de telle sorte que la fermeture des orifices se fasse juste à la fin de chaque course.

Les canaux d'entrée et de sortie sont ouverts en plein pendant la plus grande partie de la course. Lorsque le piston n'a plus que 1 0/0 de son chemin à parcourir, la largeur de l'ouverture des orifices est encore le quart de la largeur totale, la vitesse du piston, et par conséquent de l'air comprimé, étant alors presque nulle. L'air n'est donc étranglé en aucun moment de la marche du tiroir.

Au moment du changement de course du tiroir, l'air comprimé pourrait rentrer dans le cylindre. Pour éviter cet inconvénient, on a placé sur le dos du tiroir aménagé à cet effet, un clapet de retenue composé d'une plaque maintenue par un faible ressort. L'air comprimé soulève cette plaque pour s'échapper. Le dos du tiroir et la plaque sont rainés d'une façon particulière, donnant une facile sortie à l'air comprimé, tout en faisant joint parfaitement étanche.

Le cylindre est entouré d'une circulation d'eau. Dans les grandes pompes il y a également circulation d'eau dans le piston et sur les fonds.

Burckhardt et Weiss ont établi, par des formules, l'avantage que donne à leurs pompes, sur les pompes à tiroirs ordinaires, le système qu'ils appellent *égalisateur de pression*. Les diagrammes donnent, d'ailleurs, raison à leurs calculs.

Ils ont établi ainsi le tableau suivant :

PRESSIONS OBTENUES en atmosphères (Partant de 0)	RENDEMENT		GAIN 0/0
	sans égalisateur	avec égalisateur	
1	0,95	0,9950	4
2	0,89	0,9925	10
3	0,84	0,9900	15
4	0,79	0,9875	20
5	0,74	0,9850	24
7	0,63	0,9800	35
9	0,53	0,9750	44
14	0,26	0,9600	70
19	0	0,9500	95
49		0,8700	87
99		0,7500	75

On voit que les pompes sans égalisateur ne peuvent pas obtenir une

pression supérieure à 20 atmosphères, tandis que ce dispositif permet de monter à 100 atmosphères, avec un rendement encore de 75 0/0.

Cette pompe est donc excellente à tous les points de vue.

Mais si nous nous en tenons à l'objet qui nous occupe, c'est-à-dire aux compresseurs pour fours à acide sulfureux en sucrerie, dans lesquels la pression ne dépasse jamais 0,3 à 0,4 atmosphère en plus de la pression atmosphérique, nous voyons que cette perfection de la machine ne nous rapporte pas grand'chose.

En effet, pour une augmentation de 1 atmosphère, les pompes à tiroir ordinaire ne donnent que 4 0/0 de rendement en moins que les pompes perfectionnées. Pour 1/2 atmosphère, la différence serait moindre encore, sans doute moins de 2 0/0. En sorte que les grands avantages de la perfection de la machine diminuent d'autant plus d'importance qu'on arrive à de plus basses pressions.

D'où nous concluons que, s'il est avantageux d'être en possession d'une machine parfaite, les machines moins bonnes peuvent rendre encore d'excellents services dans nos sucreries, le gros inconvénient des espaces nuisibles ayant d'autant moins d'effet que la pression est moins grande.

Et en cela les machines à clapets ont un point de supériorité sur les machines à tiroir; car, dans ces dernières, les espaces nuisibles sont infiniment plus grands que dans les premières. Ainsi, dans des essais comparatifs faits par Burckhardt et Weiss entre leurs pompes et une pompe à clapets, ces ingénieurs font remarquer que les pompes à tiroir avaient 7 0/0 d'espace nuisible, tandis que la pompe à clapets n'en avait pour ainsi dire pas. Et en effet, dans les pompes à clapets, on peut rapprocher ceux-ci aussi près que l'on veut du piston, tandis que la distribution des machines à tiroir offre des espaces morts indispensables et impossibles à diminuer. Une machine à clapets directs sur les fonds aura donc un rendement meilleur qu'une machine à tiroir ordinaire, à condition que son mouvement soit lent.

Pompe de Mariolle-Pinguet et fils. — La pompe que cette maison construit pour le four Vonhof est une pompe murale (fig. 68) à action directe et à tiroir sans égalisateur. Le système de piston et de tiroir est le même pour la pompe comme pour le moteur. D'ailleurs, les mouvements des deux tiroirs sont solidaires, comme aussi les deux pistons montés sur la même tige. Une excentrique, montée sur l'arbre du volant, fait mouvoir un balancier à bras inégaux proportionnels au déplacement des tiroirs sur les lumières. C'est une jolie petite machine tenant peu de place et bien combinée.

Nous venons de voir comme quoi, dans le cas qui nous occupe, une pompe à tiroir comme celle-ci donne des résultats satisfaisants. Elle est d'autant plus commode que, outre son faible encombrement, on peut varier sa vitesse considérablement et changer son débit à volonté, ce à quoi on arrive moins facilement avec les pompes à clapets.

Il est d'ailleurs recommandable, pour les fours à soufre, d'avoir des pompes munies de leur moteur propre, plutôt que mues par courroie, afin d'en faire varier le débit avec les besoins de la sulfitation.

Pompes à clapets (généralités.)— Nous avons vu que les conditions d'établissement des pompes à clapets, pour avoir un bon rendement, sont la réduction aussi grande que possible des espaces nuisibles, condition assez facile à réaliser, et une marche suffisamment lente.

Il faut aussi que la section des clapets soit aussi grande que possible pour diminuer la hauteur de leur levée, puisque de cette hauteur de levée dépend la vitesse que l'on peut donner à la machine.

La section des ouvertures doit être d'ailleurs telle que la vitesse de l'air dans les étranglements soit faible.

Les clapets doivent être légers, les ressorts qui les ramènent en place tendus au degré strictement suffisant pour assurer cette mise en place dans le temps minimum, sans cependant augmenter sensiblement la différence de pression entre l'espace extérieur et celui laissé derrière le piston.

Enfin les clapets doivent être silencieux, sans amener pour cela de retard dans la fermeture. Un clapet fera d'autant moins de bruit que sa course sera plus courte, et moins il fera de bruit, moins fort sera le choc, et plus longtemps le clapet restera étanche. C'est donc un gage de bonne conservation et de bon fonctionnement. Aussi voit-on, dans les pompes destinées aux fortes pressions, employer des amortisseurs

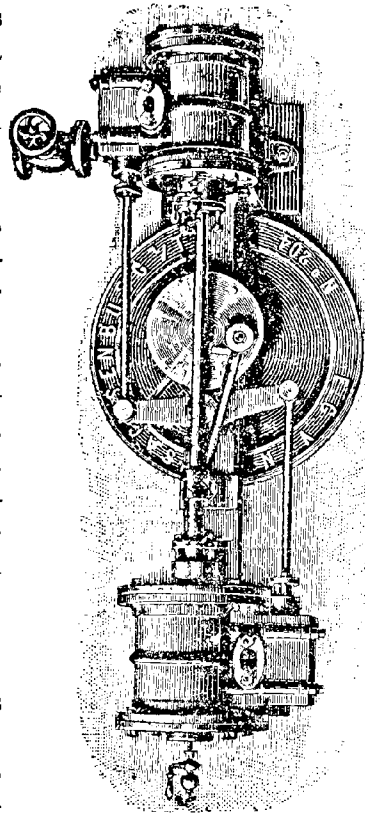


Fig. 68.

de choc analogues à ceux des machines à vapeur à clapets. Mais, dans nos machines pour gaz sulfureux, de si grandes précautions sont inutiles. Néanmoins les soupapes les plus silencieuses sont celles qui se conserveront le plus longtemps sans réparations.

Nous ne possédons pas de machine-type sur laquelle ait été faite une étude spéciale comme pour les machines à tiroir. Mais tout ce qui précède nous suffira pour examiner les différents modèles livrés par les constructeurs.

Nous commencerons nos descriptions par celles des pompes de la maison Blancke, à cause de la grande variété de clapets qu'elle construit, et dont quelques-uns sont très bien conçus.

Pompe J. Blancke.— La Maison J. Blancke a plusieurs systèmes de pompes à clapets, dans lesquels les espaces nuisibles sont réduits au minimum.

Les clapets sont toujours disposés sur les fonds du cylindre en cercle, autant d'ouvertures pour l'aspiration que pour le refoulement. Dans le dessin que nous avons sous les yeux, il y a dans le haut trois clapets d'aspiration et dans le bas trois pour le refoulement sur chaque fond.

Ils sont tous enfermés dans des boîtes dont le couvercle est retenu par un étrier pour en rendre la visite facile. L'air, à l'aspiration et au refoulement, circule dans des canaux venus de fonte avec le cylindre, semblables de part et d'autre.

La Maison J. Blancke a plusieurs modèles de soupapes.

Clapets d'aspiration. — Le clapet est en acier, surmonté d'une tige pour servir de guide. Le siège est en bronze et fait corps, au moyen de croisillons, avec le guidage de la tige.

Ce guidage est une gaine présentant à la partie inférieure le diamètre de la tige qui glisse dedans, puis s'élargissant jusqu'en haut pour laisser passer le ressort. Sur la tige s'emmanche dans le haut, retenue par écrou et contre-écrou, une fourrure en bronze ayant le même diamètre que l'alésage supérieur de la gaine de guidage, et qui sert elle-même de guide au sommet de la tige, en emprisonnant le ressort. Un collet de plus grand diamètre, ménagé à la partie supérieure de cette fourrure, sert de butée.

Dans l'un des modèles, le clapet, au moment de l'aspiration, s'arrête contre une lame circulaire d'acier percée de trous, limitant sa course en cas de bris du ressort. Cette lame affleure avec la lame intérieure du fond du cylindre.

Il y a donc, comme espace nuisible, la distance entre cette lame et la position assise du clapet.

Dans un autre modèle, le clapet affleure lui-même avec la face intérieure du fond du cylindre. Il n'y a pas ainsi d'espace nuisible.

Ce modèle est donc préférable à l'autre, mais il n'y a pas de plaque de sûreté, ce qui ne nous paraît pas un gros inconvénient.

Clapets de refoulement. — Les clapets de refoulement affleurent tous le fond du cylindre et ne présentent aucun espace nuisible. La grande difficulté dans ce cas c'est le guidage.

Tous ces clapets sont constitués par un cylindre plus ou moins évidé intérieurement dont la partie inférieure forme clapet, et la partie supérieure est guidée dans un autre cylindre venu de fonte avec le siège du clapet avec lequel il fait corps par des croisillons.

C'est la position du ressort qui différencie le plus ces systèmes, tous ressorts à boudin d'ailleurs.

Dans l'un, le ressort est dans un cylindre de petit diamètre ménagé au centre du cylindre principal. Une tige de fer pénètre au centre du ressort et limite la course du clapet.

Dans un autre, on a supprimé la tige en fer et complété le guidage par une partie cylindrique surmontant le clapet et semblable à celle du haut. Cette disposition doit être mieux équilibrée que l'autre.

Dans une troisième disposition, le ressort est supprimé ; le guidage du bas est fait par des ailettes, et la butée du clapet se fait contre un chapeau ménagé à la partie supérieure du cylindre-guide. Seulement, pour éviter le choc trop violent, une tige en fer maintenue par un petit ressort à boudin, traverse le chapeau à frottement doux, s'arrêtant au-dessus du clapet et à demi-distance de la course. Il en résulte qu'à mi-course le clapet frappe la tige et ralentit sa marche sous l'effet du ressort. Mais à l'aspiration le ressort repousse le clapet avec force et la pression d'air finit de le remettre en place.

Clapets à cônes embottés (fig. 69). — Outre ces différents systèmes, la Maison J. Blancke en présente deux autres pour aspiration et refoulement, destinés à diminuer la levée totale et donner une grande issue à l'air. Ils doivent faire, par conséquent, moins de bruit et permettre une plus grande vitesse du piston.

Leur principe essentiel est d'être composé de plusieurs clapets concentriques dont le plus grand sert de siège au suivant qui est de moindre diamètre.

A l'aspiration il y a ainsi deux clapets concentriques battant l'un sur l'autre, et au refoulement il y en a trois.

La difficulté d'un tel système est le guidage.

Les deux systèmes se composent donc d'un cylindre en bronze contenant l'ensemble des clapets et leurs guides, le cercle inférieur faisant siège pour le plus grand clapet.

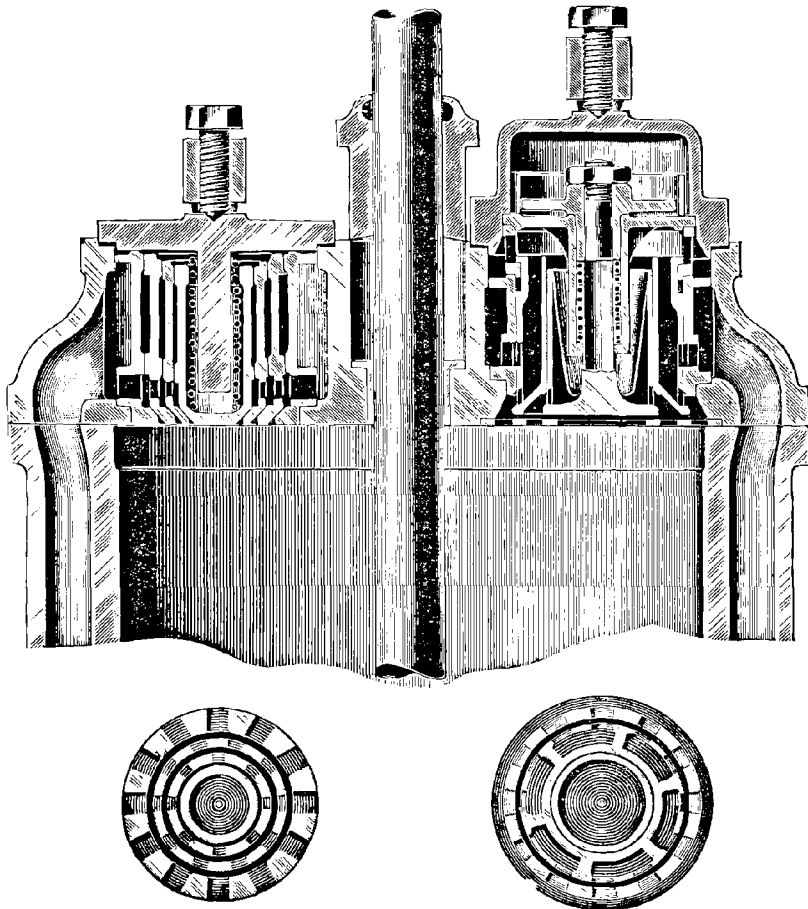


Fig. 69.

A l'aspiration l'air entre dans le haut du cylindre par des événements latéraux et pénètre par le centre.

Le premier clapet est formé par deux cylindres concentriques venus de fonte ensemble et retenus l'un à l'autre par un croisillon. Le cylindre extérieur glisse dans le cylindre-enveloppe et sert de guide. Le cylindre

intérieur forme clapet venant battre sur le siège formé par la partie inférieure du cylindre-enveloppe.

Ce cylindre intérieur sert lui-même de guide au clapet intérieur, qui glisse contre lui au moyen d'ailettes et vient battre sur un chanfrein faisant siège à la partie inférieure de ce second cylindre.

Au centre de ce second clapet, dans l'axe de tout le système, une tige de fer est vissée et passe par un guide contenant le ressort à boudin, de sorte qu'au repos le ressort, agissant sur le premier clapet, agit également sur le second. Outre les butées de réglage pour limiter la course des clapets, une lame d'acier circulaire affleurant le fond intérieur du cylindre arrête encore cette course, comme dans le premier des clapets décrits. Il y a donc un petit espace nuisible, mais moindre que dans le premier type.

Au refoulement l'air s'échappe par le bas du cylindre qui présente des événements circulaires rapprochés. Les trois clapets battant facilement l'un sur l'autre dans ce cas, chacun d'eux est surmonté d'un cylindre formant guide au suivant, et portant également des événements pour l'échappement de l'air, vis-à-vis de ceux du cylindre-enveloppe.

Le guidage est constitué par des renflements circulaires à chaque cylindre et placés de telle façon que l'un se trouve vis-à-vis d'une partie droite de l'autre. Un ressort central met en place le clapet du milieu qui appuie ainsi sur tous les autres successivement. La butée est réglée par le chapeau du cylindre extérieur.

Nous avons décrit ces systèmes, qui sont appliqués plutôt à des pompes à air sèches qu'à des petites pompes à compression, pour montrer jusqu'à quel point on peut pousser l'étude des clapets quand il s'agit de tirer la quintessence d'effet des pompes.

Mais pour les pompes à clapet, comme pour celles à tiroir, l'effet utile de ces clapets simples ou compliqués est d'autant plus grand que la pression est plus forte. Ce qui fait que dans les pompes à acide sulfureux où la pression est faible, de telles complications sont inutiles, les clapets simples suffisent amplement.

Seulement, malgré cela, il ne faut pas faire fi des espaces nuisibles et des clapets fonctionnant mathématiquement bien, car une pompe aura besoin dans ces conditions de moindres dimensions, l'effet utile étant plus grand.

Pompe Messian-Lengrand. — Cette pompe est à clapets ; elle est mue par un cylindre à vapeur ou avec commande par courroie.

Les clapets se font remarquer par leur légèreté et la facilité avec laquelle ils laissent passer l'air.

Le clapet lui-même est un disque plan, ou platine, reposant sur siège en bronze et retenu en place par un ressort à boudin.

Il est percé en son centre d'une ouverture pour laisser passer une tige métallique autour de laquelle est enroulé le ressort. Cette tige est vissée dans un écrou venu de fonte avec le siège auquel il est lié par des croisillons. L'air passe par l'espace annulaire laissé entre le siège et l'écrou.

Il faut donc, pour que la soupape soit étanche, que l'écrou fasse siège lui-même pour recevoir le clapet, puisque celui-ci est percé au centre.

La levée du clapet est limitée par une enveloppe en forme de champignon faisant corps avec la tige centrale et recouvrant le ressort.

Les clapets d'aspiration et de refoulement sont semblables, mais de sens contraire.

L'espace nuisible est constitué par l'épaisseur du siège.

Pompe Lacouture.— La pompe Lacouture (fig. 70) marche par cylindre à vapeur ou par courroie. Elle se compose d'un cylindre à double enve-

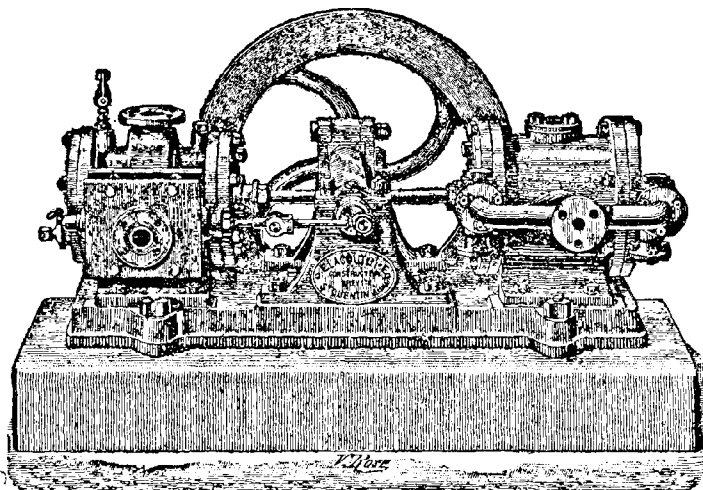


Fig. 70.

loppe avec piston volumineux à double garniture, le tout disposé de manière à diminuer autant que possible les espaces nuisibles.

Il n'en est pas tout à fait de même des clapets. Dans les deux fonds du cylindre sont ménagés des canaux horizontaux pour le passage de l'air, et, extérieurement au cylindre, se vissent, en prolongement des canaux, les boîtes à clapet. Quoique fort réduites dans leurs dimensions ces boîtes offrent des passages suffisants.

Les clapets sont métalliques et ne diffèrent pas de ceux d'une pompe ordinaire pour liquides. Ils sont superposés et leur levée n'est que du sixième du diamètre à l'aspiration et du cinquième au refoulement.

Il est évident que les espaces nuisibles sont aussi grands ici que dans une pompe à tiroir. Aussi, et en raison de la forme des clapets, la pompe doit-elle être de dimensions relativement plus grandes que pour toute autre pompe à clapets placés sur les fonds, pour rendre le même office.

Cette pompe ne pourrait pas être utilisée pour des pressions un peu élevées.

ACCESSOIRES

Robinetterie. — L'acide sulfureux rongeant tous les métaux, même le plomb à la longue, il ne faut pas songer à employer ces métaux purs pour construire des robinets ou valves à l'usage de ce gaz.

Le plus simple des obturateurs que l'on ait imaginé est le tuyau en caoutchouc, fermé par une pince en fer ou en bois. Le caoutchouc, au bout d'un certain temps, se durcit bien un peu, mais comme le changement en est très aisé, on rencontre souvent ce mode de fermeture dans les usines.

C'est lui qui est utilisé dans le montage des appareils Vonhof.

Pour maintenir constant l'écartement des deux extrémités du tuyau en plomb sur lesquelles est fixé le tube en caoutchouc, deux colliers réunis par une tige métallique saisissent ces extrémités et servent eux-mêmes à faire serrage du caoutchouc sur le plomb. La pince est métallique et se manœuvre au moyen d'une manivelle.

La plupart des constructeurs ont employé un autre système.

C'est un corps de robinet à clapet, en plomb durci, dans lequel une lame de caoutchouc flexible, faisant fonction de clapet, est appuyée sur le siège par le serrage d'une vis quelconque. La lame flexible est prise dans le joint du couvercle, de telle sorte que la vis est tout à fait en dehors de l'action du gaz.

La forme de robinet seule varie suivant les constructeurs.

La maison Lacouture donne à son robinet le nom suivant : « Robinet-soupape avec clapet et gaine caoutchouc ». En effet, c'est un robinet à soupape ordinaire à brides parallèles (fig. 71), dans lequel une gaine en caoutchouc flexible occupe tout l'espace où se meut la vis.

Le clapet lui-même est métallique, entouré d'une couche épaisse de caoutchouc, et repose sur un siège à bords plats.

La maison Mariolle-Pinguet a adopté une autre forme.

La lame de caoutchouc est plane. Le couvercle est pour ainsi dire

réduit à la bride et à l'arcade dans laquelle passe la vis. La bride et le siège du clapet sont sur le même plan, de sorte que la lame de caoutchouc, étant pincée entre les brides, repose sur le siège. Le clapet est métallique et repose sur la lame de caoutchouc avec laquelle il est relié par une large vis à tête plate. De la sorte, en soulevant le clapet, on soulève la lame de caoutchouc. Mais comme le siège a un très grand diamètre, il suffit de soulever très peu le clapet et la lame de caoutchouc pour avoir une issue suffisante. Le siège est garni d'une bague en plomb mou pour assurer davantage l'étanchéité de la fermeture.

Par cette disposition, la lame de caoutchouc fatigue peu, dure long-

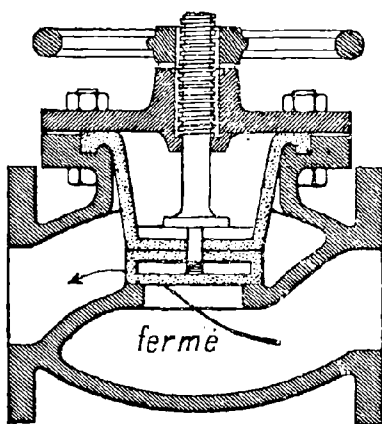


Fig. 71.

temps et peut être remplacée facilement, le caoutchouc en feuille se trouvant partout dans le commerce.

Refroidisseur de gaz sulfureux. — Le gaz sulfureux en sortant des fours, malgré le sublimateur et les laveurs, est souvent encore très chaud. Aussi le refroidit-on avant qu'il n'entre en contact avec les jus sucrés, et cette opération se fait dans des réfrigérants ou refroidisseurs tubulaires à circulation d'eau extérieure.

Nous avons vu, dans l'appareil Porak, de semblables refroidisseurs composés de tuyaux en plomb placés sur deux rangées horizontales dans un bac à eau courante de peu de hauteur.

Lacouture, pour occuper moins de place, installe les tuyaux sur deux rangées en hauteur (fig. 72).

Le corps de la bêche est en tôle, mais les deux extrémités verticales,

qui forment en même temps support sur le sol, sont en fonte et leur écartement est maintenu par de fortes entretoises.

Dans les fonds de fonte sont percées les ouvertures par lesquelles passent les tuyaux réfrigérants en nombre impair, en sorte que l'entrée du gaz se fait d'un côté de l'appareil et la sortie de l'autre.

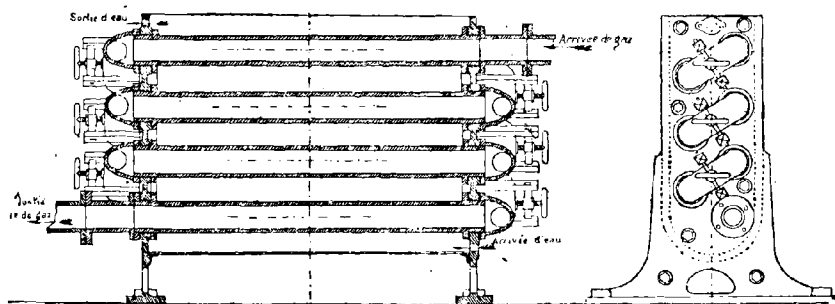


Fig. 72.

Les tubes sont reliés entre eux par des coudes extérieurs retenus en place par des étriers à vis de serrage, en sorte que leur démontage est très aisé. L'eau du réfrigérant entre par le bas et sort par un trop-plein placé en haut de la bache. La bache n'ayant pas une grande largeur, l'action de l'eau doit être bien utilisée.

Ces appareils se construisent en trois grandeurs.

Chaudières de sulfitation. — Pour compléter ce travail nous devons parler des chaudières de sulfitation. Mais nous n'avons pu recueillir

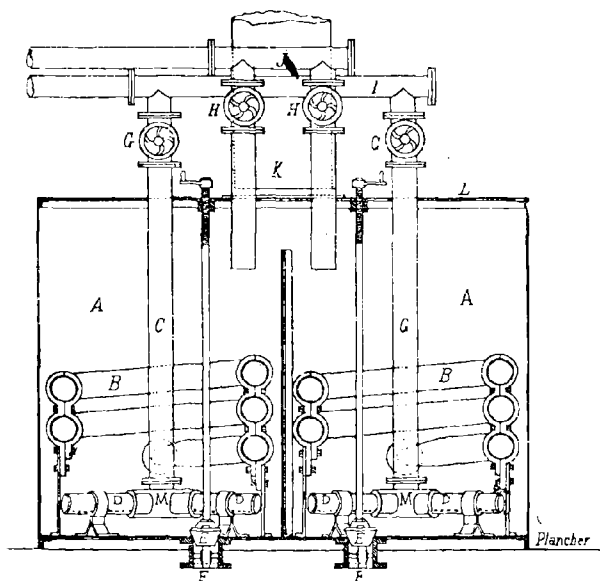


Fig. 73.

sur ce sujet rien de bien nouveau. Seul Lacouture nous a indiqué

comment il a remplacé le tuyau de plomb perforé, qui sert ordinairement à injecter le gaz sulfureux dans les bacs, par un système analogue à celui qui sert couramment pour le gaz carbonique (fig. 72).

Une tête de mort en plomb M, au centre de laquelle arrive le gaz sulfureux par un tuyau vertical C, porte latéralement quatre tuyaux horizontaux D, en plomb également, percés de trous à la partie inférieure, formant ainsi une étoile qui distribue le gaz beaucoup plus régulièrement dans la masse du liquide.

Lorsqu'il s'agit de sulfiter des égouts lourds et peu fluides, Lacouture emploie des bacs ronds avec agitateurs tournant dans l'axe, et munis de palettes inclinées déplaçant sans cesse le liquide. Le barboteur est alors le tuyau circulaire percé de trous que l'on emploie ordinairement, placé dans le fond du bac à une distance du centre égale à la moitié du rayon. Ces chaudières sont très bien étudiées.

CHAPITRE CINQUIÈME

PROCÉDÉS DIVERS DE FABRICATION

§ 1. — Généralités.

Dès l'origine on a cherché de beaucoup de manières à modifier la fabrication du sucre, soit dans le but d'arriver à des résultats d'épuration plus complets, soit dans celui de produire des sucrares solides que l'on emmagasinerait pour les traiter par la suite afin de rendre plus avantageux le travail annuel, soit enfin pour chercher des agents nouveaux.

On sait que le sucre ne forme à froid avec la chaux que des composés solubles, tandis qu'avec la baryte et la strontiane il forme des composés insolubles. Les fabricants devaient donc naturellement chercher de ce côté un moyen plus facile d'épuration du jus. Le sucraire serait recueilli à l'état solide, et puis traité de manière à mettre le sucre en liberté.

Le procédé à la baryte a été essayé et mis en pratique industriellement ; mais le prix de la baryte et la difficulté de la régénérer ont entravé beaucoup ces essais, et finalement l'ont fait rejeter. Robert de Massy, entre autres, opérait ainsi ce travail vers 1868.

Le jus était mélangé à la baryte et chauffé. Tout le sucre se précipite à l'état insoluble dans l'eau froide. On le lave avec de l'eau privée d'acide carbonique par l'ébullition ou par l'addition d'un peu de baryte, puis on le met en suspension dans l'eau et le soumet à un courant de gaz carbonique. Le carbonate de baryte se précipite, et le sucre mis en liberté est évaporé, etc.

Pour régénérer la baryte, le carbonate de baryte était mis en présence du sulfate de soude dans une atmosphère d'acide carbonique ; il se forme du carbonate de soude et du sulfate de baryte. Le carbonate de soude était vendu et le sulfate de baryte servait à régénérer la baryte.

La baryte est un produit toxique, son usage était pour cela mal vu par la fabrication. Innemann, Du Rieux et Rotlger ont cherché à réaliser les mêmes avantages avec la strontiane qui agit comme la baryte ; le carbonate de strontiane a l'avantage sur celui de baryte de régénérer la strontiane par une simple calcination.

E. Rousseau avait cherché à réaliser la formation du sucrate insoluble au moyen de la chaux en excès, soit 3 équivalents de chaux pour 1 de sucre ; en chauffant, il se formait le sucrate tribasique qui se précipitait et que l'on recueillait, ce qui réalisait l'idée des sucrateries agricoles. Le sucrate était expédié dans des fabriques centrales où on le traitait.

L'alcool, cet épurant si parfait des jus, a été essayé aussi par un homme de haut mérite, E. Pésier, de Valenciennes. « Lorsque l'on prend le jus de betterave, dit-il, et qu'on y met une certaine quantité d'alcool, on en précipite l'albumine, les flegmes, la matière colorante et la partie âcre qui donne au sucre un mauvais goût. Si, alors, on laisse déposer la liqueur d'où s'est précipitée aussi une partie des sels étrangers et que l'on mette la liqueur alcoolique dans un alambic, on retire sans perte sensible tout l'alcool, et l'on a, après évaporation, un sucre brut dit bonne quatrième, et sans aucun mauvais goût. » Malheureusement ce procédé si simple, comme tous ceux où l'alcool est employé en grand, n'a pu prévaloir à cause du prix excessif de l'alcool et des pertes trop sensibles qu'on éprouve dans tout le cours de l'opération.

Enfin on a cherché à éliminer la chaux des jus par d'autres procédés que l'acide carbonique. Lagrange, dans de persévérants efforts, a cherché l'utilisation du phosphate d'ammoniaque. Ce sel employé seul n'a jamais donné de résultats suffisants, car le sulfate de chaux dissout qui existe toujours dans les jus se décompose par l'action du phosphate, il se forme du phosphate de chaux insoluble et du sulfate d'ammoniaque, qui, à l'ébullition, se transforme en sel acide fort dangereux pour le sucre qu'il transforme en glucose. Mais, en y adjoignant l'action de la baryte, les résultats sont tout autres. On commence par traiter les jus après les carbonatations par une certaine quantité de baryte qui déplace la chaux, la potasse et la soude de leurs combinaisons sulfuriques et de certains sels organiques. C'est alors seulement que le phosphate basique d'ammoniaque est employé ; les sels organiques de chaux qui résistent à l'action de l'acide carbonique sont totalement décomposés par le phosphate basique d'ammoniaque, et le phosphate de chaux se précipite. Parmi ces sels organiques de chaux, il y en a qui sont également précipités par la baryte, mais à l'état de sels de chaux, la baryte semblant n'agir ici que par action de présence sans se combiner. L'expérience a montré que l'addition de la baryte précipite toujours un tiers de la chaux contenue dans les sirops. L'ammoniaque ne reste pas dans les jus ou sirops, la potasse et la soude mis en liberté par la baryte la chassent rapidement. Il est indispensable de n'employer que des phosphates très purs, ne contenant pas de sulfate d'ammoniaque.

Les Allemands ont modifié ces procédés en remplaçant le phosphate

par l'acide phosphorique seul sans addition de baryte. Ils prétendent obtenir ainsi une grande amélioration dans les rendements. Deux à trois litres d'acide phosphorique marquant 10 à 12 % sont mélangés soigneusement avec le jus de 20 quintaux de betterave dans les satureurs avant l'addition de la chaux ; puis on ajoute la chaux et sature comme d'habitude. L'épuration du jus en non-sucre est portée par ce procédé de 64,80 à 72,18. On peut ajouter de même l'acide phosphorique aux deuxièmes jets avant la filtration, et l'on éprouve une amélioration très notoire.

Comme moyen d'élimination de la chaux, à la suite du procédé à l'acide sulfurique qui avait l'inconvénient de mettre un acide violent en présence du sucre, on essaya tous les sulfates. Derosne essaya le sulfate d'alumine, qui joignait à l'action décolorante de la chaux celle de l'alumine mise en liberté par la chaux ; malheureusement l'alumine dans ces conditions était peu active, vu l'alcalinité trop grande du jus.

E. Rousseau avait imaginé une défécation consistant à faire bouillir le jus avec du plâtre. Il en résultait une véritable défécation. Depuis il recommanda l'usage du peroxyde de fer hydraté, en même temps que celui du sulfate de chaux.

On a employé aussi le sulfate de magnésie et enfin les sulfites. Ces derniers ont été surtout utilisés pour la canne ; Proust, Melsens et enfin Pèrier et Possoz en ont indiqué l'emploi, et surtout du bisulfite de chaux qui a produit de bons résultats dans les colonies.

Tous ces procédés peuvent être rejetés en groupe pour les sucreries de betterave, à cause de l'action désastreuse des sulfates sur les appareils qui sont en peu de temps mis hors de service par les incrustations, et sur le noir qui est gâché rapidement. Seuls les bisulfites à la diffusion donnent de bons résultats comme nous l'avons expliqué antérieurement. L'acide sulfureux jusqu'en 1882 n'avait donné de résultats que dans le procédé Seyferth qui consiste à introduire l'acide soit à l'état de gaz, soit à l'état de solution dans la cuite pour la décolorer et aider au travail pénible des cuites plates ; depuis il s'est généralisé comme nous venons de le voir.

A côté des sulfates se rangent d'autres substances épuratives proposées et plus ou moins mises en œuvre. Tels sont les acides gras, acides stéariques et margariques, qui forment avec la chaux des savons insolubles ; puis les savons eux-mêmes, la caséine, l'acide pectique, etc.

Enfin le carbonate d'ammoniaque aurait eu quelque succès s'il n'était pas trop volatil, car son prix est bas, et, dans certains cas, il pourrait rendre quelque service, quand l'action du gaz carbonique n'est plus possible.

Les bases alcalines si gênantes n'ont qu'une seule substance avec laquelle elles puissent faire des combinaisons insolubles, c'est l'acide hydrofluosilicique. On l'avait employé, mais avec aussi peu de succès que l'acide sulfurique. Cependant on l'a repris depuis sous le nom de *fluation* dont nous nous occuperons plus loin.

Nous devons ajouter à tous ces procédés l'emploi de l'acide phénique, proposé par Edgard Cunisset, comme agent conservateur et épurant des jus de betterave et de canne. Il empêche en effet l'altération comme antiseptique; quant à son effet épurant, il est, comme celui du tannin, très controversé.

Voici comment Edgard Cunisset indique l'emploi de cet agent. Dans 100 litres de jus, on se sert de 100 grammes d'acide phénique, ou bien on fait usage du phénate de chaux (obtenu par le mélange de l'acide et de la chaux). Le jus, chauffé à 80°, est additionné d'une faible quantité de phénate de chaux, composé instable qui se dédouble en acide et en chaux qui joignent leurs effets. On filtre, opération fort lente à cause du peu d'épuration réelle produite, on ajoute encore du phénate de chaux et on porte à l'ébullition. La défécation postérieure à la chaux enlève tout l'acide phénique qui s'arrête à l'état de combinaison sur les filtres à noir.

Il paraît d'ailleurs que l'acide phénique employé en diffusion dans les bacs réchauffeurs, donne de bons résultats.

Nous citerons, pour terminer, un agent sur lequel l'expérience pratique n'a pas encore dit son dernier mot et qui donne d'heureux résultats. Plicque, voulant éviter et l'action de la chaux sur les matières organiques avec lesquelles elle fait des combinaisons solubles qui gênent le travail et que l'acide carbonique ne détruit pas, et l'action de la chaleur dans la défécation dont les inconvénients n'ont pas besoin d'être énumérés de nouveau, recommande l'emploi de l'aluminate de baryte, sel très soluble qui opère à froid sur le jus de betterave une défécation puissante et une décoloration très satisfaisante qui permettent de négliger l'emploi du noir. L'aluminate de baryte est un produit dont le prix industriel ne peut encore s'établir, mais qui paraît facile à obtenir très bas, et s'emploie à 1,2 % du jus environ, en solution versée dans le jus vert. Il se fait un précipité immédiat de sels insolubles de baryte, et l'alumine mise en liberté se précipite en flocons décolorants qui gagnent bientôt le fond du vase. L'excès d'aluminate de baryte est précipité par du sulfate d'alumine, lequel, par la précipitation du sulfate de baryte, est lui-même décolorant par son alumine mise en liberté. Le jus limpide est décanté, évaporé et cuit.

Tous ces essais et procédés déjà bien anciens ont tour à tour disparu et reparu sous une autre forme.

La baryte, abandonnée après les essais de Robert de Massy, a été reprise par Nugues pour extraire le sucre des mélasses avec un plein succès; mais le prix de la baryte a seul empêché sa propagation. D'ailleurs la baryte est un défécant tellement précieux que les fabricants trouvent avantage à l'employer dans certains cas, comme nous allons le voir.

Le procédé Rousseau au sucrate de chaux a été repris, pour l'extraction du sucre des mélasses encore, par Steffen.

L'alcool a fait la base du procédé Manoury aussi pour le travail des mélasses.

L'acide phosphorique n'est plus guère employé depuis que l'acide sulfureux beaucoup plus pratique s'est répandu presque généralement dans nos usines.

Les carbonates, surtout le carbonate de soude, s'emploient souvent pour l'élimination des sels de chaux dans le cas de carbonatations difficiles.

La fluation a remis en mémoire les bons effets de l'acide fluorhydrique.

Quant à l'aluminate de baryte de Plicque, que la mort de son propagateur avait laissé dans l'oubli, nous l'avons vu reprendre par Gin et Leleu dans leurs essais d'électrolyse.

Nous allons examiner les procédés récents proposés pour l'épuration du jus, et retrouverons dans le travail des mélasses tous ceux que nous venons d'énumérer.

§ 2. — Emploi de la baryte sur les jus.

Nous avons parlé précédemment de l'emploi du carbonate de soude dans la diffusion, complété par une addition de baryte au jus diffusé, à raison de 1 kilogramme de soude Solway par 1.000 kilogrammes de betteraves et 1 kilogramme de baryte dans le jus réchauffé à 85°. La carbonatation se fait ensuite à raison de 1 kilogramme de CaO par kilogramme de sucre de jus. Ce procédé, dit sodo-barytique, donne de bons résultats.

Dans les jus de râperie, on remplace avantageusement la moitié de la chaux par la baryte. Ainsi, là où il faut 40 kilogrammes de chaux, on peut mettre 20 kilogrammes de chaux et 3 kilogrammes de baryte, et les jus arrivent à l'usine centrale en parfait état, meilleur qu'avec la chaux seule, d'après les expériences de Du Beaufret.

A la carbonatation on peut diminuer la moitié de la chaux employée ordinairement et la remplacer par 1 kilogramme de baryte cristallisée par tonne de betteraves. Malgré le prix élevé de la baryte, les protagonistes de ce procédé prétendent qu'il y a économie, tant par la suppression de la moitié de la chaux et de l'évaporation de l'eau du lait de chaux supprimé, que par le surplus de rendement obtenu par l'emploi de la baryte.

Sans aller jusque là, nous reconnaissons que la baryte est d'un emploi réellement recommandable pour les cas difficiles. Dans les jus altérés ou de mauvaise qualité, dans les sirops qui cuisent mal, la baryte rend toujours de réels services. Dans les sirops provenant de jus sulfités, un peu de baryte est d'un très bon effet pour remettre en liberté les alcalis nécessaires à la conservation et à une sulfitation ultérieure.

Si la baryte valait moitié moins nous n'hésiterions pas à préconiser largement son emploi, car nous avons reconnu en maintes occasions ses excellents effets, provenant de ce que beaucoup de sels de chaux solubles forment avec la baryte des sels insolubles. Mais il ne faut pas espérer l'impossible de la baryte, car certains sels de baryte sont solubles également, et nous n'oserions pas substituer complètement la baryte à la chaux. C'est un adjuvant précieux, mais nous croyons qu'on ne doit l'employer que comme tel.

§ 3. — Fluation.

En 1889 Lefranc et Vivien ont fait breveter sous ce nom un procédé destiné à épurer les jus sucrés au moyen des fluosilicates solubles qui s'unissent à la potasse pour faire le fluosilicate de potasse insoluble qui se précipite.

Pour traiter le jus brut de betterave, par exemple, on le prend tel qu'il sort de la diffusion, sans le réchauffer, on y ajoute environ 4 0/0 d'une dissolution à 34° Baumé de fluosilicate de plomb, on laisse quelque temps en contact, et l'on filtre. Le jus coule très clair et rapidement, et décoloré.

A ce liquide on ajoute de la chaux. Il se forme du fluorure de calcium et de l'oxyde de plomb, et l'on filtre de nouveau. Enfin, comme il peut rester un peu de plomb, on ajoute une faible quantité d'acide phosphorique jusqu'à acidité, puis de la chaux pour saturer l'excès d'acide, et l'on filtre une dernière fois.

Ce procédé donne au laboratoire des résultats magnifiques. A l'usine entre les mains des inventeurs il sembla marcher correctement et donner des coefficients salins des jus variables entre 110 et 120.

Des objections furent faites par des expérimentateurs qui n'obtinrent pas ces beaux résultats du premier coup en petit, car aucun fabricant n'a osé appliquer ce procédé.

Les inventeurs n'ont pas continué leurs essais pour cause de force majeure ; mais leur idée est bonne et ils ne l'ont pas abandonnée.

§ 4. — Procédé Hignette.

Le procédé Hignette consiste essentiellement dans l'emploi de la force centrifuge pour séparer les précipités et tous les corps en suspension dans les jus. Grâce à cette séparation qui est absolue, la carbonatation peut se faire avec beaucoup moins de chaux, tout en donnant des résultats supérieurs à ceux du travail ordinaire.

Ce procédé fort curieux mérite que l'on s'y arrête un instant car il est fertile en enseignements pour les fabricants et les chimistes de sucrerie.

La turbine qu'emploie Hignette ne diffère pas comme forme d'une turbine ordinaire. Seulement le panier est à parois pleines. La vitesse de rotation est considérable et correspond à 72 mètres circonférentiels par seconde, soit 20 kilogrammes de pression environ par centimètre carré sur la paroi pleine extérieure du panier tournant. Lorsque dans la turbine on verse un liquide louche, il s'éclaircit immédiatement, les particules en suspension de densité plus grande que le liquide venant s'appliquer contre la paroi. Les liquides les plus difficiles à filtrer, comme les jus verts, s'éclaircissent ainsi avec la plus grande facilité et le microscope ne fait plus voir aucun corps en suspension dans le jus éclairci.

Pour rendre le turbinage continu, Hignette a imaginé le stratagème suivant. Un tube de très petit orifice, dit tube d'emprise, est introduit dans la partie claire du jus, l'orifice se présentant en sens inverse du mouvement. Aussitôt le jus se précipite dans le tube et est projeté dehors avec une pression correspondant à la vitesse de rotation. Ce tube présente une forme convenable pour cet usage, et est porté sur un support à vis qui permet de le faire entrer plus ou moins profondément dans la couche de jus. Il suffit donc d'alimenter continuellement la turbine, et le jus clair est enlevé, continuellement aussi, par le tube d'emprise.

Lorsque la couche du précipité est assez épaisse sur la paroi pleine, si l'on place un second tube d'emprise à la surface de cette paroi, le précipité boueux sera enlevé également par ce tube.

De cette façon l'appareil sera absolument continu en réglant le chargement et le déchargement par les deux tubes d'emprise en conséquence.

Ceci posé, si l'on fait arriver du jus brut, on remarquera que l'on peut ainsi le filtrer d'une façon absolument remarquable, opération très difficile avec des filtres ordinaires. Si l'on chauffe ce jus avec quelques millièmes, comme dans la défécation ancienne, on obtient un jus clair admirablement déféqué et limpide.

Si enfin dans la turbine on fait arriver du gaz carbonique, ce gaz, suivant le mouvement général, fera une couche sur le jus chaulé et le carbonatera.

Hignette a remarqué que la carbonatation est lente dans ce cas. Mais si le tube d'emprise est placé à la surface du jus, jus et acide carbonique s'y engouffreront, et c'est dans le tube lui-même que se complétera la carbonatation. En réglant comme il faut la pénétration du tube d'emprise, on obtiendra une carbonatation mathématiquement exacte.

Voici les observations qui ont été faites sur ce genre de carbonatation.

Si l'on chauffe un jus à raison de 3 à 5 millièmes et qu'on le sature à l'acide carbonique dans la turbine, on obtient une pureté au moins égale, et souvent supérieure à celle que l'on constate lorsqu'on traite ces mêmes jus par la double carbonatation avec 20 ou 30 millièmes de chaux. Seulement les jus sont moins beaux, et les sirops et masses cuites sont colorés. A chaud l'opération se fait plus facilement qu'à froid, mais les résultats sont les mêmes.

Si l'on chauffe le jus à raison de 15 à 20 millièmes et que l'on carbonate dans la turbine, les résultats obtenus sont au moins égaux à ceux que donne la double carbonatation avec deux fois plus de chaux, tant au point de vue de la pureté que de la qualité de la masse cuite.

Si l'on chauffe à raison de 4 à 5 millièmes, que l'on carbonate à froid dans la turbine en laissant une alcalinité de 1 à 1,5 millième, si l'on chauffe ensuite à 85°, et que l'on passe encore une fois à la turbine pour carbonater à fond après addition de 4 à 5 millièmes de chaux nouvelle, on obtient un jus supérieur à la double carbonatation telle qu'on la pratique ordinairement, parce qu'on réunit ainsi les avantages de la carbonatation à froid et de la carbonatation à chaud.

On voit que par le procédé Hignette on économise plus de la moitié de la chaux. La raison en est compréhensible. La filtration centrifuge sépare immédiatement toutes les impuretés que l'on est obligé de saturer et d'entraîner ensuite à l'état de laque, comme disait Possoz, dans un excès de carbonate de chaux, et cela d'autant mieux que l'on peut faire la première carbonatation à froid. On n'a donc besoin d'employer que la chaux strictement nécessaire à la saturation des matières solubles. De plus il faut employer assez de chaux et une température suffisante

pour annihiler l'effet des matières colorantes, quelle qu'en soit l'origine. C'est ce qui fait que 4 millièmes de chaux à froid sont insuffisants, tandis que 8 à 10 millièmes avec action de la chaleur produisent le même effet que 20 à 30 millièmes dans la carbonatation ordinaire.

Ajoutons, pour terminer, que les boues obtenues par le procédé Hignette peuvent être délayées dans l'eau et repassées à la turbine, moyen propre à remplacer l'emploi des filtres-presses dans le cas des boues gluantes.

Enfin, au lieu d'acide carbonique, on peut envoyer dans la turbine de l'acide sulfureux, et l'on a ainsi un appareil de sulfitation excellent, surtout pour sulfiter les jus verts qui sont si difficiles à filtrer.

Tel est l'ensemble de ce curieux procédé si intéressant par ses résultats. Hignette calcule que la quantité moitié moindre de chaux que l'on emploie, la quantité par conséquent moitié moindre de sucre qu'on laisse dans les écumes, et la diminution par moitié de l'eau contenue dans le lait de chaux, font une économie de 1 franc par tonne de betteraves.

§ 5. — Traitement électrique des jus et sirops.

Théorie. — Depuis longtemps on a reconnu l'action défécante de l'électricité sur les jus sucrés. Possoz entr'autres s'en était occupé avant 1867, mais à cette époque déjà lointaine les moyens de produire l'électricité étaient trop chers pour que les méthodes électriques aient quelque chance de réussite industrielle; ce n'est que depuis quelques années, avec l'apparition des machines dynamo-électriques perfectionnées, que ces études ont repris avec une nouvelle ardeur souvent couronnée de succès.

Le courant électrique, en effet, produit des réactions remarquables sur les matières organiques soit par l'action de l'hydrogène naissant, soit par celle de l'oxygène; en décomposant les sels à acides organiques, si l'on a eu soin de mettre des anodes capables de se combiner avec ces acides et de faire des sels insolubles, on débarrasse les jus de ces acides qui en forment la principale impureté. De sorte que, soit par l'hydrogène ou l'oxygène naissants, soit par des anodes dites *solubles*, on produit sur les jus une épuration remarquable. Si enfin dans les jus on ajoute des substances, comme l'acide sulfureux, capables d'agir de leur côté sur les matières organiques sous l'influence du courant électrique, l'épuration devient dans ce cas absolument remarquable.

Mais l'électricité n'est pas sans danger. Selon Tommasi le sucre se décompose sous l'action d'un courant ayant une force électromotrice de 6 à 10 volts. Il faut donc être prudent dans l'emploi de l'électricité, et

nous avons reconnu d'ailleurs que, dans tous les cas, 5 à 7 volts sont suffisants pour produire toutes les réactions bienfaisantes sur les matières organiques, n'allant pas par conséquent aux 10 volts qui représentent le point critique qu'il ne faut pas atteindre.

D'ailleurs parmi les innombrables réactions qui peuvent se produire au sein d'un jus sucré renfermant tous les éléments organiques propres à ces liquides, il est remarquable pour nous de voir que le sucre étant le corps qui a la plus grande chaleur de formation, sa décomposition ne commencera que lorsque toutes les autres décompositions auront laissé une quantité d'électricité susceptible d'attaquer le sucre. En sorte que, même en dépassant 10 volts, on ne décomposera pas le sucre si le nombre d'ampères est insuffisant pour saturer toutes les combinaisons présentes.

Or nous sommes protégés dans les liquides par l'eau elle-même qui agit alors par sa masse, et dont la chaleur de formation est près de dix fois moindre que celle du sucre. Cependant il ne faut pas s'arrêter à ce raisonnement pour enfreindre la règle citée, car on ne le ferait pas impunément, surtout en solution concentrée comme les sirops, dans laquelle l'eau n'agit peut-être pas seulement comme dissolvant, mais aussi comme hydratant, ce qui change les conditions du problème.

Voici en effet la chaleur de formation de quelques corps (Tommasi) :

Sucre	563
Glucose.	295
Chlorure de potassium	100,8
Sulfate —	98
Oxalate —	96,6
Tartrate —	95
Carbonate —	92,4
Acide sulfureux	76,8
Eau (H ² O)	69

Or, d'après Bouty, avec les courants faibles, dans un mélange de sels c'est le métal dont les sels dégagent le moins de chaleur qui se dispose de préférence sur la cathode. Mais avec les courants forts cette loi n'est plus vraie. Nous avons donc intérêt à employer les courants faibles et proportionnés au travail à effectuer, et ne dépassant pas le voltage qui amène la décomposition du sucre.

La théorie de l'électrolyse des liquides complexes, déduite des lois de Sprague, Thomson, et Faraday, a été résumée par Tommasi en deux propositions :

1° Lorsqu'un corps sera soumis à deux réactions chimiques égales et contraires, celle qui dégagera le plus grand nombre de calories se produira de préférence, pourvu que la réaction puisse être commencée ;

2° Entre deux réactions chimiques, celle qui exigera le moins de calories pour commencer, se produira toujours de préférence, quand bien même, au total, elle dégagerait moins de calories.

Ces deux propositions expliquent tous les faits qui se rencontrent dans l'électrolyse.

Ainsi, lorsque l'on décompose l'eau par la pile, il se forme $H^+ + O$. L'eau contenant un corps en dissolution, est-ce H^+ ou bien O qui réagira sur ce corps ?

Représentons ce corps par la liaison de deux éléments A et B. Le corps AB sera susceptible de former deux nouveaux corps AH^+ et BO ou bien AO et BH^+ .

Or on remarque que si la somme totale de chaleur de formation de $AH^+ + BO$ est égale à la somme totale de chaleur de formation de $AO + BH^+$, il n'y aura aucune réaction, car il n'y a aucune raison thermique dans un sens ou dans l'autre.

Mais au contraire s'il y a différence entre la chaleur de formation de l'un et de l'autre des deux termes, c'est celui qui demande le plus de calories qui se formera.

De même si une action intermédiaire intervient et que l'on n'ait plus à savoir que si c'est AH^+ ou BO qui se formera, on aura AH^2 , c'est-à-dire réduction, si la chaleur de formation de AH^+ est plus grande que celle de BO , et on aura oxydation, c'est-à-dire formation de BO dans le cas contraire.

Telle est l'explication de la première proposition.

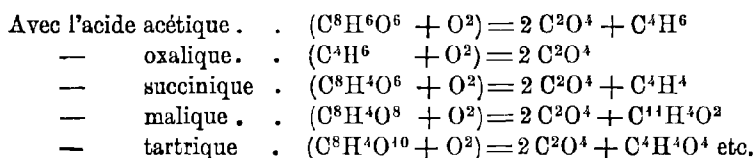
Comme exemple de la seconde on peut prendre le mélange d'eau oxygénée et de sulfate de cuivre. La réduction du sulfate de cuivre dégage moins de chaleur que celle de l'eau oxygénée (chaleur de formation moins élevée) et cependant l'hydrogène électrolytique réduit le sulfate de cuivre avant l'eau oxygénée.

Les réactions de la chimie organique sont les mêmes que celles de la chimie minérale. Seulement les électrodes se couvrent parfois de corps mauvais conducteurs ou d'enduits isolants qui ralentissent les courants faisant croire parfois à des anomalies qui sont d'ordre absolument mécanique et non chimique comme on a pu le croire. De plus les produits de décomposition peuvent se régénérer au pôle positif, ou quelquefois, mais rarement, au pôle négatif, ces produits organiques étant très sensibles à l'hydrogène ou à l'oxygène naissants. Enfin, s'ils ne sont pas stables, ces produits peuvent se décomposer d'une façon plus complète et donner de l'acide carbonique et un autre corps à fonction acide ou alcoolique ou aldéhydique. Toutes ces réactions s'opéreront différemment en milieu alcalin, ou acide, ou neutre, l'état de la liqueur influant

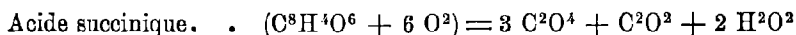
sur les décompositions finales pour saturer les produits qui se forment et empêcher leur altération ultérieure.

Toutes ces réactions ont été étudiées par Bourgoin (1868-1871).

Dans une première note (Société chimique de Paris 1868), Bourgoin fait remarquer que l'électrolyse des sels organiques est identique à l'électrolyse des sels minéraux, seulement que l'élément acide est sujet à certaines oxydations qui en changent la nature. Il cite en effet les exemples suivants (notation par équivalents) des résidus obtenus au pôle positif :

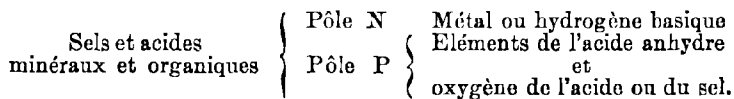


Il en résulte que l'électrolyse au lieu de donner l'acide au pôle positif peut donner les produits d'oxydation de cet acide, voire même des produits plus oxydés encore comme :



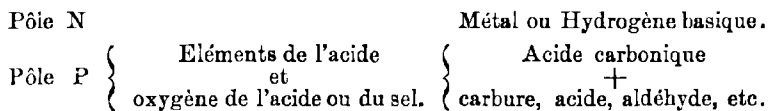
et pour résumer toute cette théorie il exprime en tableau l'ensemble des réactions suivant les deux cas précédents.

Action fondamentale.

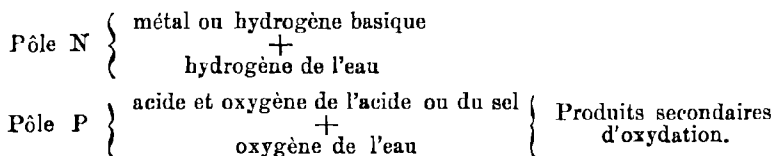


RÉACTIONS SECONDAIRES. — Acides et sels organiques

1^{er} Cas. — Oxydation normale par l'oxygène de l'acide ou du sel.



2^e Cas. — Oxydations secondaires par l'oxygène de l'acide ou du sel et par celui de l'eau alcaline décomposée simultanément.



Dans une autre note de la même année Bourgoin fait remarquer que

l'eau n'intervient aucunement dans toutes les réactions par sa décomposition électrolytique. *L'eau n'est pas un électrolyte.* Elle ne sert que de véhicule comme dissolvant des différents électrolytes mis en expérience, lesquels réagissent sur l'eau pour la décomposer.

Ainsi l'eau alcaline donne l'oxygène au pôle positif et du potassium au pôle négatif, lequel décompose l'eau.

L'eau acidulée par l'acide sulfurique, solution étendue, donne l'acide sulfurique anhydre et de l'oxygène au pôle positif, et de l'hydrogène au pôle négatif.

Tandis que l'eau acidulée avec l'acide azotique donne de l'oxygène au pôle positif; mais au pôle négatif on a successivement H, AzO⁺, AzO⁺, AzO, Az, AzH⁺.

Avec l'acide borique, qui n'est pas un électrolyte, on n'obtient absolument aucun dégagement gazeux ni au pôle positif ni au pôle négatif. Cette dernière expérience est concluante.

Avec les acides organiques on obtient aux deux pôles les gaz de décomposition de ces acides, sans aucune perturbation par ceux qui pourraient provenir de l'eau.

Cette remarque est fort intéressante pour les recherches électrolytiques.

En 1870 Bourgoïn a établi les lois qui régissent l'action de l'électricité sur les sels organiques. En constatant dans toutes ses expériences que l'acide disparaît différemment aux deux pôles, il distingue trois cas généraux :

1° L'acide se concentre régulièrement au pôle positif. Tels sont les acides stables de la chimie minérale, et les acides organiques suivants : acétique, succinique, benzoïque, camphorique, etc.

2° La perte est nulle au pôle positif. Tel est l'acide formique, parce que l'acide s'y régénère continuellement.

3° Les deux pôles s'appauvrissent également et en même temps. Exemple : les acides tartrique, citrique, lactique, etc. et en général tous les acides très oxydables.

Un seul acide organique faisait exception à la règle, c'est l'acide oxalique qui disparaît beaucoup plus vite au pôle positif qu'au pôle négatif, contrairement au deuxième cas.

Bourgoïn a expliqué et démontré la raison de cette anomalie apparente. En analysant les gaz, et séparant les résidus électrolytiques et les analysant, il a trouvé que l'acide oxalique en dissolution n'est pas l'acide anhydre, mais un hydrate C⁴H²O⁸, 2H⁺O⁺ (not. en équivalents). Il en résulte une action secondaire au pôle positif, l'oxygène de l'eau de l'hydrate brûlant une quantité correspondante de C⁴H²O⁸, ce qui explique

la moins grande quantité d'acide restant au pôle positif qu'au pôle négatif après l'électrolyse.

Ceci prouve que, dans les dissolutions, les corps sont parfois à l'état d'hydrate, fait qui n'avait jamais été prouvé antérieurement. Bourgoïn le prouve ici par l'électrolyse. Nous l'avons personnellement reconnu en faisant la courbe d'ébullition du glucose à différentes concentrations. Le fait n'est donc pas isolé et doit attirer l'attention des chimistes.

D'ailleurs Bourgoïn a montré un peu plus tard que l'acide azotique en solution était $\text{AzO}^2\text{H}^2\text{O}^2$, quelle que soit la quantité d'eau en présence.

Tel est l'ensemble des recherches générales que Bourgoïn a poursuivies sur l'électrolyse des matières organiques. Nous en avons donné un résumé qui peut servir de guide aux recherches électrolytiques. Outre cela Bourgoïn a donné les résultats de l'électrolyse d'un grand nombre d'acides et de sels organiques, ceux que nous avons cités comme exemples. Tout cet ensemble forme un travail considérable qui devait entrer dans un historique comme celui-ci de l'électrolyse des dissolutions organiques telles que le jus de betterave.

Battut, se plaçant au point de vue de la sucrerie, a publié en 1897 (deuxième congrès international de chimie appliquée) le résultat d'une série d'expériences qu'il a faites sur le jus de betterave.

Commençant par l'électrolyse simple du jus avec électrodes en platine, en zinc et en plomb, il constate d'abord que sous l'effort du courant électrique il n'y a pas destruction de substances organiques; il y a seulement transport des acides au pôle positif, acides qui se combinent aux oxydes provenant de l'oxydation des anodes; mais l'auteur s'est assuré expérimentalement que l'asparagine, la pectine, la dextrine, les sels organiques de chaux sont indécomposables par l'électricité. Quant à l'albumine elle se précipite aux deux pôles, à l'état de combinaison avec les acides à l'anode, et de composé alcalin à la cathode.

Néanmoins Battut a constaté un certain dégagement de gaz qu'il a pu recueillir et dans lesquels l'hydrogène domine, avec 1 ou 2 centièmes d'acide carbonique, l'oxygène semblant y être totalement absent, car celui que l'on y trouve est mélangé d'azote et provient probablement d'un peu d'air dissout.

Après ces constatations Battut a électrolysé des jus bruts et carbonatés avec anodes en zinc et en plomb. L'auteur a reconnu une épuration constante du liquide aussi bien comme pureté saline que comme pureté organique. Seulement il a fait une constatation curieuse qui s'est répétée même avec l'électrodialyse, c'est que le zinc influe surtout sur l'épuration organique, et le plomb sur l'épuration saline.

Tel est l'exemple d'un jus carbonaté :

	Jus brut carbonaté	Jus électrolysé	
		anode Pb	anode Zn
Pureté	83,90	84,60	84,60
Coefficient salin . .	15,95	16,58	16,28
— organique.	7,81	8,18	8,37

Toutes ses expériences présentent les mêmes caractères que celle-ci. En en citant une seule on connaît l'esprit des autres.

Autre remarque importante : l'épuration azotée est nulle.

L'électrodialyse donne des résultats plus sérieux que l'électrolyse simple. On sait que l'électrodialyse consiste à séparer le dialyseur en deux compartiments par un septum, vase poreux ou papier parchemin, à mettre le jus d'un côté, de l'eau alcaline de l'autre, et enfin l'anode soluble dans le jus et la cathode, ordinairement en fer, dans l'eau alcaline. Les éléments basiques du jus, la potasse principalement, vont dans le compartiment négatif et le jus se trouve de la sorte épuré de cet alcali.

Ainsi, un jus carbonaté a donné

	Jus carbonaté	Jus carbonaté électrodialysé anode en plomb.
Pureté	83,5	87,9
Coefficient salin . .	16,03	22,47
— organique.	7,61	10,72

En comparant ces analyses aux précédentes on voit que l'épuration dans ce cas est beaucoup plus considérable. Il faut remarquer qu'en conduisant bien l'opération il n'y a pas transport de sucre du compartiment positif au compartiment négatif.

Enfin l'électrodialyse peut se faire dans un vase à trois compartiments et deux septums. Le jus se trouve dans le milieu, et les deux électrodes dans les compartiments de droite et de gauche. Dans ce cas le jus se débarrasse de ses alcalis dans le compartiment de la cathode, de ses acides dans celui de l'anode soluble, et l'épuration se trouve dès lors poussée au plus haut point.

Voici, en effet, les analyses d'un jus brut traité de la sorte. On l'a comparé avec le même jus traité par double carbonatation.

	Jus brut	Jus carbonaté	Jus électrolysé
Pureté	81,2	96,6	97,2
Coefficient salin . .	15,53	25,09	1141,2
— organique.	6,96	8,77	77,37

Cet exemple montre l'immense épuration saline, et la très grande épuration organique obtenues par cette méthode.

Si l'on fait l'électrodialyse sur un jus carbonaté, ayant par conséquent déjà subi une épuration considérable, on obtient des résultats analogues, mais moins extraordinaires comme chiffres.

	Jus carbonaté	Le même électrodialysé
Pureté.	87	91,9
Coefficient salin. . . .	22,8	58,33
— organique	9,52	14,15

Enfin de la mélasse a donné :

	Mélasse	La même électrodialysé
Pureté.	59,2	68,5
Coefficient salin. . . .	4,27	10,20
— organique	2,19	2,76

En continuant l'électrodialyse pendant un temps beaucoup plus long mais qui n'aurait plus rien d'industriel, la pureté de la mélasse a monté à 72,5, son coefficient salin à 64,31 mais le coefficient organique est resté le même, 2,76.

On voit donc quel parti très intéressant on peut tirer de l'électrodialyse comme épuration des jus et sirops, mais surtout des jus bruts.

Enfin Battut donne un tableau qui résume ces opérations. Ce tableau a cela d'intéressant que l'on peut y comparer la quantité d'électricité nécessaire dans tous les cas. C'est là l'un des points capitaux des procédés, à savoir le prix de revient. L'auteur fait remarquer d'ailleurs que si certains opérateurs ont obtenu par l'électrolyse des résultats à peu près nuls, c'est qu'ils n'employaient pas assez d'électricité par raison d'économie. Et, en effet, les procédés électrolytiques donnent de beaux résultats, mais il faut dépenser pour eux toute l'énergie électrique nécessaire, sans quoi on n'obtient rien.

Voici ce tableau.

	ELECTROLYSE				ELECTRODIALYSE					
	Jus brut	Jus épuré par double carbonatation	Strops épurés	Mélasse	Jus brut normal	Jus brut dilué	Jus épuré	Jus épuré	Mélasse diluée	Mélasse diluée
Épuration supplémentaire pour 400 de non sucre	11,2	7,0	3,8	0,0	"	"	"	"	"	"
Épuration supplémentaire pour 400 de sucre	4,1	1,1	1,2	0,0	10,88	12,59	6,40	7,45	22,46	31,10
Coulombs consommés pour 400 cc. de liquide initial	1276	597	1989	4657	1851	2052	1823	4366	4600	14266
Force électromotrice mesurée aux bornes de l'appareil (Volt)	4,3	4,3	6,9	3	8,3	8,6	5	5,7	4,8	5,9
Joules pour 400 cc. de liquide initial	5887	2580	13640	4665	15363	17544	9115	24886	23040	85508
Plomb dissout.	1,88	0,81	2,15	1,50	4,71	5,72	2,46	4,28	6,33	12,01
Zinc —	0,36	0,32	0,85	0,45	"	"	"	"	"	"
Chevaux-vapeur pour 400 litres à l'heure	2,20	0,97	5,14	1,77	5,85	6,62	3,44	9,39	8,60	32,27
Sucro perdu dans les liquides éliminateurs pour 400 de sucre	"	"	"	"	5,99	4,68	2,36	1,27	3,54	12,19

Dans un très beau travail publié en 1895 (*Sucrerie Indigène*) Gin et Leleux ont cherché à chiffrer les forces électriques nécessaires au travail des jus.

Partant de ce principe que l'électrolyse d'un composé ne peut avoir lieu qu'en présence d'un courant de force électromotrice déterminée, égale en mesure absolue à l'équivalent mécanique de l'action chimique correspondant à la décomposition d'un équivalent électro-chimique du corps considéré, ce qui se traduit par la formule :

$$W = J Q \varepsilon w = \frac{QE}{g}$$

$$\text{d'où} \quad E = J g \varepsilon w = 4,16 \varepsilon w = \frac{C}{23,1} \text{ volts}$$

W = énergie consommée pour le travail de décomposition ;

J = équivalent mécanique de la chaleur ;

Q = quantité d'électricité exprimée en coulombs ;

E = force électromotrice ;

ε = équivalent électro-chimique de l'électrolyte ;

w = quantité de chaleur dégagée par 1 gramme de l'électrolyte ;

g = accélération de la pesanteur ;

C = nombre de calories absorbé pour la décomposition d'un équivalent chimique du corps considéré.

Les auteurs concluent qu'un électrolyte soumis à l'action d'un courant de force électromotrice E sera décomposé lorsque l'on aura $C < 23,1 \times E$; au contraire il ne sera pas décomposé pour $C > 23,1 \times E$.

Cette loi est vraie pour les électrolytes bons conducteurs. Mais pour les corps mauvais conducteurs il faut que le courant ait une intensité assez grande pour provoquer l'*ionisation-limite* de l'électrolyte.

C'est ce que les auteurs appellent *coefficient d'activité* d'un corps, plus ou moins rapproché de l'unité. C'est à la petitesse du coefficient d'activité du sucre, et à sa grande chaleur de formation, qu'il doit d'échapper aux actions électrolytiques employées ordinairement en sucrerie. Les alcools, les ammoniacs, l'asparagine, les saccharides en général, les acides borique, butyrique, etc., jouissent de la même propriété que le sucre.

Pour étudier les appareils à employer en électrolyse il faut déterminer d'abord la *quantité d'électricité* nécessaire et qui est fonction des quantités pondérales de matières à dissocier, et la *force électromotrice* correspondante à l'ensemble des résistances que doit vaincre le courant. On obtient ainsi la constante IE dont on peut faire varier les facteurs suivant la source électrique dont on dispose.

Pour calculer I, l'intensité du courant ou quantité d'électricité à con-

sommer, par unité de temps, il faudrait connaître les poids respectifs des éléments électro-positifs ou électro-négatifs qui constituent le jus. L'analyse ne donne que des résultats approchés sur lesquels l'électricien ne peut se baser, et d'ailleurs la variabilité de la composition des jus rendrait ce calcul illusoire. Il vaut mieux s'en rapporter à la méthode expérimentale.

Ainsi les auteurs prenant une composition hypothétique d'un jus contenant 22 grammes d'impureté par litre, additionnant les équivalents électro-chimiques de ces corps, arrivent à un chiffre d'ampères-heure qui n'est pas celui que donne la pratique, d'autant plus que leurs expériences ont prouvé que l'élimination réelle n'a jamais été plus grande que 7 gr. 460 par ampère-heure, au lieu de 8,3 que donne le calcul. Et ils concluent qu'il ne faut pas demander à l'électrolyse la totalité de l'épuration, mais lui réserver de parfaire l'épuration obtenue par les moyens ordinaires.

Quant au voltage E on le calcule par l'équation

$$E = e + I \times \Sigma r$$

$$e = \text{force électromotrice de polarisation} = \frac{C}{23,1}$$

Σr = totalité des résistances du circuit.

Berthelot a posé les règles suivantes pour calculer C . « Dans l'électrolyse d'un sel alcalin dont l'acide ni la base ne sont ni oxydés ni réduits pendant l'opération, la force électromotrice minima susceptible de déterminer l'électrolyse est sensiblement égale à la somme de deux quantités équivalentes, l'une à la chaleur absorbée par la séparation de l'acide et de la base en solutions étendues, l'autre à la chaleur de décomposition en O et H^2 de l'eau qui dissout le corps.

« Pour les chlorures alcalins, la force électromotrice minima s'obtient en ajoutant la chaleur absorbée pour l'électrolyse de l'hydracide, à la chaleur absorbée dans la séparation du sel en base et acide étendu. »

Pour les combinaisons organiques, la seule règle à suivre consiste à calculer la force électromotrice d'après la différence entre l'état chimique initial et final, défini par la totalité des réactions, tant primaires que secondaires, accomplies par le courant.

Dans un jus les réactions sont tellement complexes qu'il vaut mieux encore s'en rapporter aux résultats de l'expérimentation.

Gen et Leleux ont donc déterminé par expériences les différents termes de l'équation qu'ils simplifient en écrivant :

$$E = e + \Sigma r$$

en faisant remarquer que e est variable avec les phases de l'épuration.

Car, suivant la loi de Sprague, les substances se décomposent dans l'ordre croissant des quantités d'énergie qu'elles consomment pour leur dissociation, de sorte que e va en croissant du commencement à la fin de l'opération, soit d'après les expériences de 0,6 à 2,2 volts.

Nous ne suivrons pas Gin et Leleux dans les longs développements de leurs formules. Ils en tirent les conséquences suivantes :

Le produit $E I$, ou puissance électromotrice, augmente avec la densité du courant $\frac{1}{S}$ et l'écartement des électrodes (S = surface des électrodes).

La puissance diminue quand I diminue ou quand le produit $m n$ augmente, m étant le nombre d'électrolyseurs groupés en quantité et n le nombre de compartiments en série.

Il faut donc donner au courant la moindre densité possible, rapprocher le plus possible les électrodes, et éviter de constituer des groupes électrolytiques d'une trop grande puissance avec une seule source électrogène. Il vaut mieux fractionner les installations.

Après ces études théoriques, Gin et Leleux passent à une étude pratique, avec des expériences de laboratoire fort bien conçues, de la résistance électrique des solutions de saccharose.

Voici le tableau qu'ils ont obtenu pour la résistance des solutions sucrées en fonction de la concentration : température 15°, densité du courant 10 milli-ampères par centimètre carré.

MOLECULES grammes par litre (x)	DENSITÉ des solutions	POIDS de $C^{12}H^{22}O^{14}$ par litre (grammes)	VALEUR DES RÉSISTANCES (y)		
			Mesurées		Calculées
			I	II	
0,01	1,0004	3,42	70,200	74,600	,
0,02	1,0018	6,84	61,300	61,200	,
0,05	1,0051	17,10	53,800	54,100	,
0,1	1,0122	34,20	52,200	52,000	52,046
0,2	1,0258	68,40	52,180	52,420	52,311
0,3	1,0378	102,60	52,790	53,000	52,956
0,4	1,0514	136,80	53,900	54,050	53,980
0,5	1,0639	171,00	55,400	55,400	55,385
0,6	1,0770	205,20	57,000	57,230	57,170
0,7	1,0898	239,40	59,300	59,200	59,330
0,8	1,1037	273,60	61,100	61,780	61,770
0,9	1,1175	307,80	65,000	64,700	64,800
1	1,1320	342,00	67,770	68,200	68,200
1,25	1,1644	427,50	77,810	77,980	78,000
1,50	1,1964	513,00	91,300	91,000	91,200
1,75	1,2277	598,50	104,700	105,000	104,970
2	1,2563	684,00	121,700	122,000	122,000

Le minimum correspond à 0,08 molécule-gramme par litre (27 gr. 36) la limite, à siccité, soit le cristal de sucre, serait 447,900.

A partir du minimum la courbe correspond à la formule

$$y = 52.160 - 3.040 x + 18.980 x^2$$

La résistance en fonction de la température a été étudiée également, et peut être représentée par la formule.

$$y = a - bt + Ct^2$$

Seulement elle varie avec la concentration des liqueurs. Pour chacun des termes du tableau précédent, il faut donc calculer a , b et c .

Voici quelques-uns des chiffres obtenus pour x molécules-grammes par litre.

$x =$	0,1	0,5	1	1,5	2
$a =$	65,840	70,560	87,733	118,980	160,070
$b =$	-0,993	-1,072	-1,407	-1,998	-2,780
$c =$	+4,964	+5,333	+6,964	+9,796	+13,497

On voit que ces diverses fonctions comportent toutes un minimum pour une valeur de t un peu supérieure à 100 et que ce minimum oscille entre 16000 et 17000 ohms-centimètres.

Les auteurs tirent des différentes courbes représentées par la formule cette conclusion que : pour une même variation de température, les variations de résistance sont différentes et d'autant plus grandes que les solutions sont plus éloignées de leur point d'ébullition. La loi varie avec la concentration, mais les diverses solutions tendent vers une même résistance limite, correspondant à leur point d'ébullition.

Enfin il y a un troisième élément dans l'étude de la résistance des électrolytes, c'est la densité du courant.

La courbe correspondant à cette résistance a été représentée par les auteurs selon la formule :

$$y = \alpha - \beta \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x$$

x étant la densité du courant exprimée en milli-ampères par centimètre carré.

On voit que les variations de cette fonction sont d'autant plus grandes que x est plus petit. A partir d'une certaine densité de courant la résistance est à peu près constante et tend insensiblement vers $(\alpha - \beta e)$ qui est l'ordonnée d'une horizontale asymptote de la courbe trouvée.

De plus le coefficient β peut être considéré comme nul pour les électrolytes bons conducteurs (acides minéraux, alcalis, potasse ou

soude, etc.) et n'est appréciable que pour les mauvais conducteurs (ammoniacque, sucre, asparagine, etc.)

Si l'on tente d'expliquer ces observations par l'hypothèse d'Arrhénius, on peut supposer que l'action du courant traversant un électrolyte aurait pour premier résultat de vaincre la tension interne qui retient les *ions* à l'état de molécules électriquement neutres et inaptes à transformer le courant. Au passage d'un courant de densité donnée correspondrait la dissociation d'une certaine proportion de molécules inactives en *ions libres actifs*, en un mot une *ionisation* qui serait fonction de la densité du courant employé. La conductibilité étant fonction de la quantité d'ions actifs le serait aussi de la densité du courant.

On conçoit donc que l'influence de la densité du courant soit nulle ou peu appréciable pour les électrolytes bons conducteurs. Aussi la densité du courant aura d'autant moins d'action que l'on se rapprochera davantage de la limite de dilution pour laquelle le coefficient d'activité :

$$\frac{m}{m+n} = \frac{\text{molécules actives}}{\text{molécules actives} + \text{molécules inactives}} = 1 \text{ (c.-à.-d. pour } n = 0)$$

Ces suppositions expliquent aussi une autre observation que les auteurs ont faite, que nous avons faite souvent nous-mêmes, pour les solutions mauvaises conductrices : lorsqu'on fait passer un courant dans une solution sucrée, on constate une résistance initiale très grande, qui décroît en un temps très court, et devient constante. Cela correspondrait à l'état d'inactivité initiale des molécules, qui disparaît après le temps très court nécessaire à l'ionisation correspondante à l'intensité du courant. L'électrolyse proprement dite ne commencerait que quand l'intensité du courant serait suffisante pour réaliser l'*ionisation limite*, c'est-à-dire capable de faire :

$$\frac{m}{m+n} = 1$$

Enfin on observe que les phénomènes d'ionisation persistent pendant un temps appréciable après la suppression du courant. Cette *ionisation rémanente* ne paraît sensible que dans les électrolytes mauvais conducteurs.

A ces observations de Gin et Leleux, nous ajouterons une autre toute personnelle qui rentre dans le même ordre d'idées. Lorsque l'on a fait passer un courant dans un liquide, que la résistance initiale a été vaincue et que le régime est bien établi, si l'on renverse le courant, la résistance que rencontre le courant nouveau semble être double de celle que l'on observe initialement, car le temps que le courant met à reprendre la normale paraît être double de celui qui est nécessaire au début de

l'opération. On perd donc du temps et de la force électromotrice à renverser le courant, comme lorsque l'on veut nettoyer les électrodes. L'emploi pour l'électrolyse des courants alternatifs participe de ce retard.

Gin et Leleux terminent cette partie de leur beau travail par cette phrase modeste : « nous n'avons pas la prétention de présenter comme « vérités rigoureuses les observations et les conceptions qui précèdent. « Nous avons tenté d'expliquer les résultats d'un très grand nombre de « déterminations. »

Les auteurs relatent ensuite les expériences d'électrodialyse qu'ils ont faites en notant toutes les données d'une opération. Ils ont observé que la résistance spécifique croît dans le compartiment positif d'abord assez vite pour arriver à une quantité sensiblement constante ; dans le compartiment négatif la résistance décroît rapidement et tend également vers une quantité constante. Enfin le courant semble n'exercer qu'un transport nul ou très faible du saccharose du côté du pôle positif.

Enfin le travail se termine par le tableau suivant des résistances de différentes matières susceptibles de se trouver dans les jus.

Les solutions ont été faites à 1/100 de poids moléculaire, soit une proportion comparable à celle qu'on observe dans les liquides sucrés.

Tableau des résistances de diverses matières organiques contenues dans les liquides sucrés normaux ou modifiés.

		Symbole	P. moléculaire	P. par litre	ρ		
				gr.	ω c		
Acides organiques à fonctions simples	Acides $C^n H^{2n} O^2$ monobasiques	Acide formique.	$C^1 H^2 O^2$	46	0,460	2600	
		— acétique.	$C^2 H^4 O^2$	60	0,600	6122	
		— propionique.	$C^3 H^6 O^2$	74	0,740	7310	
		— butyrique.	$C^4 H^8 O^2$	88	0,880	6930	
	Acides $C^n H^{2n} O^4$ bibasiques	— oxalique.	$C^2 H^2 O^4$	90	0,900	310	
		— malonique.	$C^3 H^4 O^4$	104	1,040	890	
		— succinique.	$C^4 H^6 O^4$	118	1,180	4140	
	Acides $C^n H^{2n} O^6$ tribasiques	— acéonitique.	$C^5 H^6 O^6$	174	1,740	1060	
		— tricarballoytique	$C^6 H^8 O^6$	176	1,760	4270	
	Acides organiques à fonctions composées	Acides-alcools $C^n H^{2n} O^3$ monobasiques	— glycolique.	$C^2 H^4 O^3$	76	0,760	2230
— lactique.			$C^3 H^6 O^3$	90	0,900	2360	
Acides-alcools tribasiques		$C^n H^{2n-2} O^5$ $C^n H^{2n-2} O^6$ $C^n H^{2n-2} O^7$ $C^n H^{2n-2} O^8$	— tartronique.	$C^3 H^4 O^5$	120	1,200	1084
			— malique.	$C^3 H^6 O^5$	134	1,340	1120
			— tartrique.	$C^4 H^6 O^6$	150	1,500	1180
			— saccharonique.	$C^6 H^{10} O^7$	194	1,940	1490
Acido-alcool tribasique			— mucique.	$C^6 H^{10} O^8$	210	2,100	2120
			— citrique.	$C^6 H^8 O^7$	192	1,920	1320
Ammoniaque			$Az H^3$	17	0,170	10250	
Triméthylamine			$C^3 H^9 Az$	59	0,590	5520	
Acide aspartique		$C^4 H^7 Az O^4$	133	1,330	3890		
— glutanique		$C^5 H^9 Az O^4$	147	1,470	3620		
Bétaine		$C^4 H^{11} Az O^2$	105	1,050	16400		
Asparagine		$C^4 H^6 Az^2 O^3$	132	1,320	80000		

Tous ces procédés ont fait l'objet de brevets que nous allons décrire tout à l'heure.

Depuis le travail de Battut l'électrolyse a été appliquée aux jus sucrés d'une manière un peu différente. Lorsque parut le procédé Ranson qui employait l'acide hydrosulfureux pour l'épuration des liquides sucrés, Urban (1897) pensa à produire cet acide par l'action de l'électricité sur les jus sulfités, se contentant pour cette opération de faire plonger des électrodes positives et négatives, les premières en métaux solubles, dans les liquides sulfités. Nous décrirons plus loin ce procédé qui avait quelques inconvénients.

En 1898 nous avons pris alors un brevet pour l'électrodialyse des jus et sirops sulfités. A quelques jours de différence Baudry avait pris un brevet presque identique, comme nous le montrerons ultérieurement.

Voici l'un des résultats que nous avons obtenus en employant un ap-

pareil électrodialyseur à deux compartiments, l'anode en fer plongeant dans un liquide alcalinisé par de la baryte, la cathode en étain plongeant dans le liquide sucré sulfité.

	Sirop normal	sirop sulfité électrodialysé.
Pureté.	82,4	89
Coefficient salin. . . .	17,38	21,70
— organique	6,40	12,70

On voit que ces résultats sont aussi beaux que ceux obtenus avec l'électrodialyse à trois compartiments et électrodes solubles sur liquides similaires, sauf en ce qui concerne le coefficient salin dont l'augmentation est un peu moindre. Quant à la force motrice nécessaire, nos expériences ont indiqué que 100 litres demandent 100 watts, soit $\frac{100}{736} = 0,136$ cheval-vapeur. C'est beaucoup moins que les chiffres donnés par Battut, probablement à cause de la grande conductibilité des liquides et de l'effet puissant de l'acide hydrosulfureux. En modifiant un peu l'appareil nous sommes même descendus à 0,1 cheval-vapeur.

PROCÉDÉS DIVERS D'ÉLECTROLYSE DES JUS ET SIROPS

Sans citer les très nombreux brevets qui ont été pris pour l'électrolyse des liquides sucrés, nous ne parlerons que des principaux.

Brevet Schollmeyer, Behm et Dammeyer (1892). — Les expériences ont été faites dans la sucrerie de Hoym (Anhalt). Les auteurs commentent par faire remarquer que le nombre d'ampères et de volts doit être d'autant plus élevé que la température du liquide est plus basse. Qu'il faut employer des courants faibles pour ne pas intervertir le sucre.

Les éléments de travail qu'ils préconisent sont, pour des jus bruts à 60° Réaumur (75 centigrades), 40 à 50 ampères et 8 volts, pendant 6 à 9 minutes. A 40 ou 50° Réaumur (50 à 62°,5 cent.) il faudra 50 à 60 ampères et 6 à 8 volts, pendant 9 minutes.

Le système Schollmeyer consiste simplement en un bac dans lequel plongent les électrodes, métal ou charbon. On y introduit le jus chauffé et filtré. Puis, après électrolyse, on y ajoute 1,5 0/0 de chaux et l'on fait bouillir.

Dans un certificat d'addition de 1893, les auteurs revendiquent l'emploi d'*électrodes solubles* formant des oxydes alcalins, zinc, aluminium, plomb. Ces métaux donnent naissance à des oxydes qui se précipitent, entraî-

nant avec eux les matières décomposées ou précipitées par le courant. Ils émettent aussi l'idée d'électrodes composées de plusieurs de ces métaux juxtaposés, se réservant de les employer soit comme anodes, soit comme cathodes, ou pour les deux ensemble.

Enfin il indique comme moyen de nettoyage des électrodes le renversement des courants, qui détache les précipités qui enrobent surtout les cathodes. Quant au chaulage du jus il a reconnu qu'on peut le faire avant l'électrolyse, et que l'on peut employer avec avantage la baryte et la strontiane au lieu de la chaux. Il revendique en même temps tous les oxydes pour cet usage, de zinc, d'aluminium, etc.

On voit que les auteurs de ce système ont étudié tous les moyens électrolytiques que l'on a utilisés ultérieurement dans les différents brevets d'électrodialyse et autres; c'est ce qui fait la curiosité de ce travail vraiment très intéressant.

Brevet Javaux, Gallois et Dupont (1894). — C'est le premier où l'on trouve l'électrodialyse. L'appareil est une cuve séparée en compartiments par des cloisons poreuses, telles que le papier parchemin. Dans les uns de ces compartiments, de deux en deux, circule le jus. Dans les autres, intercalés par conséquent avec les compartiments à jus, circule de l'eau alcaline. Dans le jus sont les anodes composées de métaux solubles; dans l'eau sont les cathodes en métal quelconque inattaquable par les alcalis comme le fer.

Les auteurs font circuler les liquides à traiter dans plusieurs électrolyseurs successifs dont les anodes sont différentes.

Les jus sont d'abord additionnés de chaux ou de baryte pour précipiter dès le début une grande partie des matières organiques qui les souillent, et aussi pour les rendre alcalins afin d'éviter l'inversion du sucre.

Après cette opération les jus passent dans un premier électrodialyseur dans lequel les anodes sont formées par des plaques d'oxyde de manganèse convenablement aggloméré avec une substance conductrice, ou d'aluminium, ou des deux corps ensemble, ou encore de ces deux corps unis au plomb.

De cet appareil, les jus passent dans un second où les anodes sont en plomb seulement, et enfin dans un troisième à anodes de fer, d'aluminium ou de zinc.

Les auteurs expliquent ainsi la raison de la série de leurs opérations. Pour l'action du courant électrique, les matières étrangères, sels organiques ou minéraux, sont plus ou moins modifiées, oxydées, décomposées. Les sels sont décomposés. Les radicaux métalliques, potassium

ou sodium, passent à travers les cloisons dans les compartiments négatifs où, par la décomposition partielle de l'eau, ils se transforment en bases, potasse ou soude, avec dégagement d'hydrogène. La chaux, la magnésie ne passent pas, ou passent en faible proportion dans les eaux négatives. Elles forment des sels insolubles qui se précipitent au sein du jus. Les acides et l'oxygène des bases se portent au pôle positif, sur l'anode soluble, avec laquelle ils se combinent pour former des composés insolubles, tels que sulfates, phosphates, chlorures et organates divers de manganèse, d'alumine et de plomb.

L'acide azotique est partiellement transformé en ammoniacque qui se rend dans les compartiments négatifs.

Beaucoup de matières organiques, notamment les albuminoïdes, sont oxydées et rendues insolubles. Celles qui, par leurs caractères et leur composition se rapprochent des alcaloïdes, des ammoniacques, des amines, passent en partie dans les eaux négatives.

Quand l'opération est terminée, la presque totalité de la potasse et de la soude a été évacuée dans les eaux négatives, et la presque totalité des acides et des matières organiques autres que le sucre et le glucose, a été précipitée, de sorte que l'épuration est pour ainsi dire absolue. Les jus sont devenus clairs, incolores; ils ne précipitent plus par le sous-acétate de plomb. Leur coefficient salin est remonté de 20 ou 40 à 150 ou 200 et même au delà. Le degré de pureté, qui varie dans les jus de 75 à 85, monte à 95-97 pour le jus de canne, et à 98-99 et même 99,5 pour le jus de betteraves.

Il ne passe aucune trace de sucre dans les eaux négatives. Quand on opère bien, *il n'y a pas dialyse*, la force électrodynamique annulant la force osmotique.

Ceci dit, voici pourquoi les auteurs font passer les jus successivement dans trois séries d'électrolyseurs contenant des anodes en métaux différents.

Dans les premiers électrolyseurs, on a des électrodes en aluminium ou en oxyde de manganèse, parce que les premiers acides libérés forment facilement avec le plomb des sels solubles et au contraire, leurs sels avec l'aluminium ou le manganèse sont insolubles.

Dans les électrolyseurs suivants, et qui sont en bien plus grand nombre, les anodes sont en plomb, parce que les acides libérés à ce moment forment des sels de plomb parfaitement insolubles, et que le plomb est facilement régénérable des boues plombiques.

Enfin les derniers électrolyseurs ont des anodes en zinc, fer ou aluminium, pour éliminer électrolytiquement les traces de plomb qui peuvent rester en dissolution.

Après l'électrolyse les jus sont filtrés, puis évaporés. Si par hasard ils contiennent des traces de plomb, celui-ci est précipité par l'acide phosphorique ou l'acide sulfureux, ou par leur sel de chaux soluble, puis filtrés de nouveau. Telle est la théorie de ce procédé qui serait excellent si certaines difficultés ne se rencontraient pas dans son exécution et dont la principale est de débarrasser les anodes des dépôts qui les enrobent et les rend impropres à conduire le courant. Aussi les auteurs ont-ils indiqué l'adjonction aux électrolyseurs de systèmes de brosses nettoyant facilement les surfaces des anodes, celles-ci étant animées d'un mouvement de va-et-vient vertical ou bien tournant continuellement autour d'un axe et ayant alors la forme de disques. Quant aux conditions de température et de force électrodynamique elles ne sont pas indiquées, les brevetés se réservant le traitement à chaud ou à froid.

Les eaux alcalines restent dans les compartiments négatifs jusqu'à ce qu'ils marquent 4 à 6 degrés Baumé, soit 40 ou 50 grammes de potasse au litre. Elles sont alors employées telles quelles pour la fumure des terres, ou évaporées pour retirer la potasse.

Les boues plombiques sont traitées au four de réduction avec du charbon, ou même sans charbon si elles contiennent assez de matières organiques, pour régénérer le plomb, ou des sels de plomb vendables.

En 1894 la Société de la Raffinerie C. Say a pris un brevet pour substituer au plomb un alliage de plomb et de 1 millième de cuivre (ou d'un autre métal non dénommé) lorsque l'on électrolyse des liquides, comme le jus de canne, qui contiennent de la silice. Cette silice au lieu de se déposer sur les anodes ainsi constituées à l'état d'un vernis imperméable, forme une boue perméable permettant la pénétration facile du liquide jusqu'à la paroi de l'anode.

Brevet Gin et Leleux (1894). — Les auteurs commencent par traiter les jus, chauffés à 80°C, par l'aluminate de baryte ou de strontiane, ou, plus économiquement par l'aluminate basique de chaux, soit à 4 ou 6 équivalents de CaO. Ces corps précipitent les matières albuminoïdes, la cellulose, les gommés, les matières pectiques et colorantes; une partie des acides organiques est précipitée à l'état d'organates de chaux ou d'alumine; il y a aussi précipitation de l'acide phosphorique, de la magnésie, de l'oxyde de fer, etc. Un peu de potasse et de soude est entraîné dans les précipités albuminoïdes. Les jus sont franchement alcalins par la potasse mise à l'état libre par la chaux.

Ce sont donc des jus déjà fortement épurés que Gin et Leleux soumettent à l'électrolyse. Nous avons parlé d'ailleurs des propriétés défécantes des aluminates dans une autre partie de ce livre (p. 388).

L'action électrique se produit en plusieurs phases dans le même appareil. La première chambre où passe le jus est dite chambre de *dissociation*. Les anodes y sont en charbon, les cathodes en fer. Là les bases se séparent des acides. C'est de l'électrolyse simple, dans laquelle on rapproche autant que possible les électrodes pour diminuer la résistance.

La chambre suivante dite d'*évacuation*, est séparée en deux par une membrane poreuse. Le liquide sucré est du côté positif avec anodes de plomb.

Enfin le liquide passe dans une troisième chambre d'*élimination* où les électrodes sont en charbon et où se passe une *osmose électrique*.

Voici les explications données par les auteurs de ce dispositif.

Dans les chambres de dissociation, les acides organiques rencontrant des anodes inertes sur lesquelles ils ne peuvent satisfaire leur affinité, réagissent les uns sur les autres et sont oxydés. Il en résulte de l'acide carbonique et des acides à formules plus complexes qui seront ultérieurement plus facilement précipitables que l'acide primitif.

Ainsi l'acide formique donne de l'acide carbonique et de l'eau; l'acide butyrique se transforme en acides carbonique, acétique, propionique, oxalique, succinique, etc. Ces réactions n'allèrent nullement le saccharose. Ce sont ces acides dérivés qui viennent dans le compartiment à anodes en plomb avec l'oxyde duquel ils se combinent.

Mais, selon les auteurs, dans la chambre d'élimination une certaine quantité de sucre se diffuse. Alors ils divisent en deux parties le liquide électrolysé. Une partie va à l'électrodialyseur à anodes solubles, l'autre dans l'électrodialyseur à anodes insolubles. On mélange ensuite le liquide éliminateur du premier avec le liquide sucré du second. Il se fait des doubles décompositions entre les acides du jus et les sels de plomb qu'on y ajoute et le jus se trouve naturellement déféqué. Il est évident qu'il faut régler les opérations de telle sorte que ces rentrées ne soient qu'exactement suffisantes pour que les réactions puissent se produire. De la sorte le sucre diffusé rentre dans le jus et n'est pas perdu.

Toute cette manipulation est plus compliquée à décrire qu'à exécuter lorsque l'appareil est bien construit. Mais le procédé Gin et Leleux, qui ressemble beaucoup au précédent dans ses parties essentielles, n'échappe pas aux mêmes difficultés résultant du nettoyage des anodes solubles. Aussi proposent-ils ce nettoyage au moyen d'une insufflation intermittente d'air sous pression qui vient balayer la surface des électrodes, rassemble les bulles gazeuses et détache les dépôts polarisants.

Brevet Despeissis (1893). — C'est dans ce brevet que se trouve décrit l'électrodialyseur à trois compartiments, celui du milieu, sans électrodes,

contenant le jus, tandis que dans l'un des deux autres se trouve la cathode en fer ou charbon, et dans l'autre l'anode en plomb ou en zinc ou aluminium. Despeissis avait déjà fait des essais dans cette voie dès 1883. Les alcalis du jus se concentrent du côté de la cathode, et les acides se combinent avec les oxydes des anodes solubles. En sorte que finalement le jus est débarrassé de ses impuretés mélassigènes. Nous avons vu précédemment dans le travail de Battut les résultats remarquables donnés par ce procédé. Mais l'écueil est toujours le même, le nettoyage de l'anode soluble.

Brevet Cassel et D. Kempe (1893). — L'une des raisons pour lesquelles Despeissis ne réussit pas dans son procédé est la suivante. Dans un électrolyseur à trois compartiments, le départ des alcalis au pôle négatif est beaucoup plus rapide que celui des acides au pôle positif. Il en résulte que le liquide sucré placé dans le vase du milieu, quoiqu'alcalin au début, devient rapidement acide, puisque les acides se trouvent séparés de leurs bases, et que celles-ci traversent la membrane plus vite que les acides. Il y a donc danger d'inversion du sucre.

Les inventeurs pensèrent alors à mettre dans le compartiment positif un sel alcalin (NaCl par exemple). Ce sel, en se dissociant, abandonne son acide immédiatement à l'anode, tandis que la base, pour se rendre à la cathode, est obligée de traverser le compartiment contenant le liquide sucré, saturant ainsi les acides qui n'ont pas encore traversé le septum, et entretenant dès lors l'alcalinité du sirop.

Tel est l'objet très intéressant de leur brevet, méthode qui a été utilisée depuis par d'autres inventeurs.

Brevet Urbain (1896). — C'est le premier brevet dans lequel il soit fait mention de l'emploi de l'électricité pour le traitement des jus sulfités, et de la transformation de l'acide sulfureux en acide hydrosulfureux sous l'action du courant électrique. Urbain se contentait pour faire cette opération de plonger des électrodes alternativement positives et négatives dans un bac contenant le liquide sulfité.

Ce procédé avait d'ailleurs été mis dans le domaine public par Ranson par une note publiée antérieurement au brevet Urbain. Quoiqu'il en soit ce procédé avait le même inconvénient que l'électrolyse directe, de mettre le jus en présence de l'oxygène naissant, ce qui peut être une cause d'oxydation du sucre.

Urbain corrige cet inconvénient en employant les électrodes solubles, ce qui nécessite l'alternance des courants pour le nettoyage des anodes.

Les jus et sirops ainsi traités sont parfaitement décolorés, et débarrassés d'une grande partie de leurs matières organiques.

Brevet Charitonenko et Baudry (1^{er} août 1898), *Brevet Horsin-Déon* (17 août 1898). — Ces deux brevets pris à quelques jours d'intervalle ont le même objet et les mêmes méthodes de procéder. Les deux inventeurs se sont rencontrés sur le même terrain avec des idées absolument identiques sans s'être concertés, l'un travaillant en Russie, l'autre en France.

Ils consistent sommairement à employer un électrodialyseur séparé en deux compartiments par une paroi poreuse (papier parchemin ou autre), à mettre le jus sulfité dans l'un avec la cathode et de l'eau alcalinisée du côté de l'anode, les deux électrodes étant insolubles. De la sorte le jus sulfité se trouve au contact de l'électrode où abonde l'hydrogène naissant, sous l'effet duquel l'acide sulfureux se transforme en acide hydrosulfureux. A l'anode se réunissent tous les acides organiques et l'oxygène.

Grâce à cette disposition le jus se trouve absolument écarté du contact de l'oxygène et des acides naissants, ce qui assure une absolue innocuité de l'électrolyse vis-à-vis du sucre. Les alcalis restent du côté de la cathode où se trouve le sucre et l'acide hydrosulfureux, lequel se transforme bientôt en acide sulfureux et forme des sulfites beaucoup moins mélassigènes que les sels organiques des mêmes bases.

Il y a quelques différences entre ces deux brevets. Horsin-Déon considère comme une nécessité absolue d'alcaliniser l'eau du côté de l'anode avec de la baryte. En effet cet alcali se porte du côté de la cathode et contribue à la précipitation de certaines impuretés organiques inélectrolysables, tandis que les acides qui passent à la cathode se saturent de cet alcali et beaucoup se précipitent. C'est pourquoi on peut employer une électrode en fer. Du côté de la cathode où se concentrent les alcalis on pourrait employer un métal quelconque sans la présence de l'acide sulfureux. C'est pourquoi Horsin-Déon recommande l'étain.

Ces différents points se rencontrent également dans le brevet Baudry. Seulement le brevet Baudry se complète de procédés non énumérés dans l'autre, et qui sont empruntés aux brevets que nous avons étudiés précédemment.

Le travail est ainsi conduit dans le système Baudry. Les jus ou sirops sont traités par la chaux, baryte, etc., qui précipitent certaines impuretés, puis filtrés.

Les liquides alcalins sont ensuite portés dans des électrodialyseurs et passent par les compartiments positifs à anodes solubles.

Ils sont filtrés, débarrassés de la chaux par l'acide carbonique, puis sulfités à acidité, et passent dans un second électrodialyseur dans le compartiment négatif à cathode insoluble, où se forme l'acide hydrosul-

fureux. Enfin, les liquides circulent dans le compartiment du milieu d'un troisième électrodialyseur à trois compartiments, comme dans le système Despeissis.

Il est évident qu'en utilisant tous les procédés connus, les jus ou sirops doivent avoir obtenu une pureté parfaite, et peuvent être assimilés à des clairces de raffiné.

D'ailleurs voici les revendications du brevet Charitonenko et Baudry d'après le brevet Allemand de juillet 1898.

1° Électrolysation en compartiment positif des jus bruts (chaulés ou non) en présence d'une très petite quantité d'un composé renfermant de l'acide sulfureux pour transformer les alcalis en sulfites neutres.

2° Emploi d'anodes mobiles faites en métaux dits solubles (zinc, étain, plomb, aluminium, manganèse, fer, cuivre, etc.) soit à l'état pur, soit à l'état d'alliage.

3° Emploi de tuyaux de vapeur dans les différents compartiments des bacs électrolyseurs pour maintenir l'eau et le jus ou le sirop à la température optima.

4° Emploi de cloisons perméables constituées soit par du parchemin végétal ou animal, soit par des silicates d'alumine plus ou moins purs (argile) soit par du charbon spécial.

5° Électrolysation en compartiment négatif des sirops en présence d'un petit excès d'acide sulfureux soit libre soit à l'état de bisulfites.

6° Décoloration et fluidification des sirops par production électrolytique d'acide hydrosulfureux.

7° Traitement facultatif des jus et sirops par « électrolyse secondaire » en se servant d'un bac électrolyseur de construction un peu différente à ceux précédemment employés (à trois compartiments).

Ci-après la description de notre procédé ; quant à l'appareil on le concevra facilement d'après la nature même du système.

Brevet Horsin-Déon (17 août 1898) pour un procédé d'épuration des jus et sirops de sucrerie et de raffinerie par électrodialyse de ces liquides sulfités.

On sait que dans un liquide contenant des sels si l'on fait passer un courant électrique, à l'anode se réunissent les acides et se dégage l'oxygène ; à la cathode on recueille les bases et l'hydrogène.

D'autre part, dans le travail des liquides sucrés, il faut éviter l'action des acides et de l'oxygène naissant qui peuvent altérer le sucre.

En ce qui concerne les liquides sulfités électrolysés, on sait que l'hydrogène naissant se porte sur l'acide sulfureux pour faire de l'acide hydrosulfureux, réducteur énergique des matières organiques.

Mais si le liquide était alcalin avant la sulfitation, deux cas peuvent se présenter :

Si l'acide sulfureux ajouté se trouve dans le liquide en proportion telle qu'il fasse avec les alcalis des monosulfites, le courant électrique transformera immédiatement les sulfites en sulfates.

Si l'acide sulfureux se trouve dans la proportion suffisante pour faire au moins le bisulfite des bases, le courant électrique décomposera les bisulfites en hydrosulfites alcalins, corps non moins actifs que l'acide hydrosulfureux lui-même.

De là résulte que dans l'électrolyse, pour obtenir les hydrosulfites que l'on recherche, il faut que les liquides soient sulfités de manière à ce que l'acide sulfureux soit en excès et que son dosage indique au moins deux équivalents d'acide sulfureux pour un équivalent de base libre.

Les hydrosulfites se transforment en sulfites en détruisant les matières organiques. Dès lors, à la fin de l'opération, si l'on continue le courant électrique, tous les sulfites seront transformés en sulfates, et le liquide sera tel qu'il convient pour la suite du travail.

C'est pour éviter les écueils signalés, résultant de l'action des acides et de l'oxygène sur les sucres et profiter de toutes les réactions citées plus haut, et d'autres dont je parlerai plus loin, que j'ai combiné le mode opératoire dont je désire m'assurer la propriété.

L'appareil dont je me sers pour appliquer ces principes a, à peu près, la forme d'un osmogène.

Dans les chambres formées par l'intervalle des papiers parchemin, ou autres septums, j'introduis les électrodes alternativement anodes et cathodes.

Dans les chambres contenant les cathodes, je fais circuler de bas en haut le liquide sucré sulfité qui s'écoule en haut par un déversoir dans une nochère desservant tous les cadres négatifs.

Dans les chambres à anodes circule de même de l'eau alcalinisée comme nous le verrons plus loin, pour augmenter la conductibilité et aider l'opération chimique.

Grâce à cette disposition les acides se dialysent immédiatement des chambres négatives dans les chambres positives et le liquide sucré ne se trouve jamais qu'en présence des bases, mises en liberté par la dialyse, et de l'acide hydrosulfureux qui décompose les matières organiques. Quant à l'oxygène il reste à l'anode avec les acides. Il n'y a donc aucune décomposition du sucre à craindre.

Comme électrodes j'emploie une matière conductrice quelconque pour l'anode, charbon ou métal.

Pour la cathode on ne peut employer le charbon qui réagit sur les

hydrosulfites. Les métaux ordinaires zinc, cuivre, fer, plomb, sont attaqués également et font avec le sucre des combinaisons qu'il faut éviter pour beaucoup de raisons.

Le métal que j'emploie est l'étain, car les seules combinaisons qu'il puisse faire sont les stannates alcalins qui se décomposent en acide stannique insoluble. Il peut faire aussi du sulfure insoluble. En tout cas il ne forme pas de combinaisons avec le sucre. D'ailleurs l'attaque de la cathode est insensible en pratique.

On conçoit que l'appareil ainsi décrit puisse marcher d'une façon continue, sans qu'il soit nécessaire d'appuyer sur ce point.

Le choix de l'alcali mis dans l'eau des chambres à anodes a son importance, car cet alcali tend à passer par osmose dans les chambres à cathodes, c'est-à-dire dans le liquide sucré. C'est pourquoi j'alcalinise cette eau avec de la baryte (de préférence à la strontiane et à la chaux que l'on peut employer également) parce que la baryte en passant du côté du liquide sucré s'unit aux matières organiques et à l'acide sulfureux des sulfites, faisant des produits insolubles qui se précipitent. On conçoit d'ailleurs facilement pourquoi la potasse et la soude doivent être bannies pour cet usage.

De plus, la baryte en passant du côté du liquide sucré, met en liberté une quantité correspondante de potasse ou de soude. Il en résulte que le liquide sucré tend à devenir alcalin, d'abord à cause du passage des acides minéraux du côté de l'anode, ensuite à cause de cette action secondaire de la baryte, quelque restreinte qu'elle soit.

Si donc à ce moment la décoloration et l'épuration désirées ne sont pas obtenues, en sulfitant de nouveau le liquide, on peut obtenir une augmentation d'épuration proportionnelle à la quantité d'alcali mise en liberté.

D'où résulte une seconde méthode de travail; après avoir poussé l'épuration jusqu'au degré décrit précédemment, sulfiter de nouveau et recommencer l'opération dans un second appareil semblable au premier.

Mais il est préférable de construire l'appareil de manière à ce que les deux opérations se fassent d'une façon continue et dans les mêmes cadres sans avoir deux appareils séparés. Il suffit pour cela de placer dans l'appareil déjà décrit, une arrivée de gaz sulfureux vers le milieu des cadres et de régler l'écoulement de manière à ce que la première période du travail se fasse au-dessous de cette arrivée de gaz sulfureux, la seconde au-dessus et la troisième, c'est-à-dire la transformation des sulfites en sulfates, tout à fait dans le haut.

Enfin, on peut faire la première sulfitation dans les cadres mêmes,

en sorte que l'on n'ait qu'à diriger le liquide à traiter sur l'appareil et qu'il en sorte complètement épuré.

Ajoutons enfin, pour compléter le procédé, que certains liquides sucrés peuvent avoir une telle constitution que la première sulfitation soit impuissante à déplacer les acides organiques combinés aux alcalis. Dans ce cas, on peut leur ajouter une certaine quantité de base alcalino-terreuse qui déplace les alcalis pour se combiner aux matières organiques, et c'est ce liquide, filtré ou non, que l'on introduit dans l'électrolyseur.

Ici comme précédemment la baryte est préférable, car devant devenir plus tard sulfate, la chaux provoquerait de gros inconvénients à l'évaporation et à la cuite, inconvénients qu'il faut éviter.

LIVRE CINQUIÈME

FILTRATION

CHAPITRE PREMIER

TRAVAIL DES BOUES ET DES ÉCUMES

§ 1. — Filtration des boues.

Les *filtres-presses* considérés dans leur constitution élémentaire, forment une série de sacs en toile maintenus dans toutes leurs parties contre des parois métalliques percées de trous. Une pompe fait entrer sous pression les boues liquides dans ces sacs ; le jus s'écoule clair et le sac s'emplit de boues solides qui sont pressées fortement contre les parois. Lorsque le sac est plein, le jus ne coule plus ; alors pour chasser l'excès de liquide qui reste dans la boue, on envoie soit de l'air comprimé, soit plutôt de la vapeur directe sous pression dans le sac. La vapeur se substitue au jus qu'elle chasse, s'y condense et lave ainsi les boues, dissolvant les dernières portions de sucre, et formant ainsi un jus nouveau très peu sucré ; si l'action de la vapeur se continuait ainsi longtemps, il ne resterait pas de sucre dans la masse ; mais cette vapeur se crée bientôt des voies, et sort à la partie inférieure du sac au bout d'un certain temps, et son effet devient tout à fait nul alors ; on ferme donc le robinet et l'opération est terminée.

Le filtre-presse proprement dit se compose d'une série de pareils sacs formés de deux toiles dont les quatre côtés sont serrés entre des cadres de fer ou fonte ne présentant qu'une seule ouverture pour le passage des boues. Les cadres, et par conséquent l'ensemble des deux toiles formant sacs, sont séparés par des claies métalliques qui permettent au jus de s'échapper. Nous reviendrons plus tard sur les différentes formes que l'on donne aux filtres-presses.

En sortant des filtres-presses, le tourteau doit être sec, cassant, homogène dans toutes ses parties. S'il est mou, aqueux, visqueux, on peut en conclure ou à un mauvais maniement de l'appareil, ou plus souvent

à un travail de carbonatation défectueux, parfois à de mauvaises betteraves auxquelles on a appliqué un procédé d'épuration non approprié.

Les tourteaux sont rejétés tels quels en tas, et livrés à l'agriculture. Au lieu d'employer le lavage à la vapeur, on se sert généralement du lavage des tourteaux à l'eau chaude. Mais outre le sucre, l'eau dissout encore une certaine quantité de chaux et autres matières qui nécessitent le renvoi de ce jus à la deuxième carbonatation ; on l'emploie aussi à délayer la chaux.

La composition des écumes variera suivant les procédés de travail, ainsi que leur quantité. Le minimum d'écumes sera évidemment fourni par la défécation simple qui n'en donne guère que 2 à 3 %, tandis que le procédé Rousseau, la saturation Jelineck en fourniront beaucoup plus, et enfin le procédé de Périer, Possoz et Cail, qui emploie beaucoup plus de chaux, donnera jusqu'à 11 et 12 % de boues de carbonatation.

Quoique la défécation simple ne soit presque plus qu'un souvenir, nous donnerons cependant les analyses suivantes, car les écumes qui surnagent la première carbonatation, par exemple, peuvent avoir avec elle quelque analogie.

Écumes de défécation.

AUTEURS	HOFFMANN	CORENWINDER	ROUSSILLE
Eau	4.45	52.70	7.27
Matières minérales	46.20	30.84	58.01
Matières organiques azotées	44.85	3.72	33.51
Matières organiques non azotées . . . . .				1.579	0.446
Sucre	0	3.50	0
Résidus	4.50	0	1.21
	100.00	100.000	100.00

Les analyses d'Hoffmann et de Roussille sont assez comparables, celle de Corenwinder provient d'une écume humide ; si nous la considérons aussi sèche que la première, ce qui porterait les matières organiques à 32 % environ et les matières minérales à 60 %, elle serait assez comparable aux autres.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet. La double carbonatation de Périer, Possoz et Cail donne des écumes très chargées en carbonate de chaux, mais dans lesquelles se retrouvent les mêmes éléments que précédemment.

Voici une ancienne analyse des écumes de la sucrerie de Nassandres :

Carbonate de chaux	48,00
Eau	38,50
Matière azotée	3,04 ($\Delta z = 0,456$)
Sucre	1,00
Phosphate de chaux	3,00
Sulfate de chaux	0,65
Oxyde de fer	0,17
Potase, soude	traces.
Silice, alumine, magnésic, etc..	5,64
	<hr/>
	100,00

Une analyse des boues de carbonatation de Meaux donnait :

Carbonate de chaux	50,00
Eau	24,00
Matière organique et sucre.	6,35 ($\Delta z = 0,370$)
Chaux libre	7,50
Matière minérale	2,15
	<hr/>
	100,00

La grande quantité d'eau que contiennent ces écumes gêne sensiblement pour reconnaître le rapport des différentes parties. Cependant on a remarqué que les tourteaux contiennent de 50 à 60 % des impuretés de la betterave ; comme il y a de 8 à 12 % de ces boues, il est facile de calculer ce qu'elles devront contenir de matières organiques. De plus on y dose généralement de 33 à 38 % d'humidité et 4,5 % de carbonate de chaux. Si donc un jus contient 3 % d'impuretés par exemple, dont 40 % au moins sont éliminés par la saturation dans les tourteaux, on aura comme composition des tourteaux, pour 100 de betteraves, à peu près :

Carbonate de chaux	4,5	ou 0/0 de tourteau	51,7
Matière organique	1,2		13,8
Eau	3,0		34,5
	<hr/>		<hr/>
	8,7		100,0

ce qui est à peu près la composition trouvée dans les analyses précédentes. Quant à la quantité de sucre qu'ils contiennent, elle varie de 1,50 à 4 %. Ce serait donc dans ce dernier cas une perte réelle dans le travail, qui se chiffre par milliers de kilogrammes de sucre à la fin de la campagne, si on ne cherchait pas à l'extraire.

Il est difficile de donner des règles pour éviter de laisser de si grandes quantités de matière sucrée dans les écumes. Le sucre, en effet, s'y trouve d'abord à l'état de jus entraîné que le lavage doit

chasser en plus grande partie des tourteaux. Si ces tourteaux restent pâteux et parfois liquides à l'intérieur, il est évident que de grandes pertes de sucre se feront sentir, comme nous avons pu le constater dans le travail d'ouvriers peu consciencieux qui abandonnaient leur filtration non terminée complètement pour aller plus vite, tellement que le centre du tourteau était encore sucré au goût. Nous avons constaté aussi le fait dans le cas d'écumes visqueuses, qui, passant très difficilement, engorgeaient les filtres-presses et gênaient le travail ultérieur au point que l'on était obligé de les décharger encore pâteux. On doit donc diriger ses filtres-presses de telle sorte que, en travail ordinaire, les toiles s'emplissent régulièrement dans toutes leurs parties, en réglant l'ouverture du robinet d'entrée et veillant à la sortie du jus qui doit toujours être limpide; laisser emplir le filtre-presse autant que possible jusqu'à ce que la dernière travée n'abandonne plus de jus que goutte à goutte; alors fermer l'entrée du liquide, envoyer l'air comprimé, puis donner doucement l'eau de lavage en quantité bien déterminée.

Lorsque les jus sortent louches par l'un des robinets inférieurs, c'est que l'une des toiles correspondantes est percée; si le jus sort laescent par tous, c'est que le travail de la carbonatation est mauvais, et il faut se dépêcher de remédier au mal en le prenant à sa source. Il en est de même si, malgré tous les soins possibles, les tourteaux restent boueux. Il faut en général, dans ces cas, augmenter la chaux dans les jus plus impurs pour augmenter aussi la quantité de carbonate qui entraîne ces impuretés.

Le sucre peut aussi, dans certains cas, se trouver dans les boues à l'état de sucrate tribasique ou de sucrocarbonate. Ceci proviendra d'un mauvais travail à la carbonatation, d'une ébullition anticipée à la première carbonatation, ou d'un gazage insuffisant à la seconde.

En général, on peut juger à la nature des résidus des filtres-presses de la marche de la carbonatation, de la qualité même des betteraves employées. Le chimiste et le directeur de la fabrication ne sauraient trop avoir les yeux à ce travail important.

Lorsque l'on a des boues qui passent difficilement aux filtres-presses, qui sont remplies de matières visqueuses, il y a paraît-il un moyen de remédier au mal et de sauver cette portion de liquide mal travaillé, qui conduirait à une perte certaine et considérable de sucre si on persistait à jeter ces boues gluantes et humides. Ce moyen a été proposé par Eydman, chimiste hollandais, qui a imaginé de leur appliquer le principe des cuites acides, en ajoutant à ces boues de l'acide chlorhydrique, tout en les maintenant alcalines; elles perdent ainsi toute leur viscosité. Eydman propose l'emploi du chlorure de chaux pour le même usage pour ne pas

mettre l'acide lui-même entre les mains des ouvriers qui ne sauraient pas en faire usage.

§ 2. — Epuisement des écumes.

L'épuisement des écumes en sucre est une opération de grande importance, car ces résidus contiennent ordinairement 3 ou 4 0/0 de sucre au moins, soit 0,35 0/0 du sucre contenu dans la betterave, et les rejeter avec 0,4 0/0 de sucre seulement est un gros gain pour les fabriques. On a imaginé des procédés de lévigation des tourteaux en les malaxant dans l'eau et les repassant de nouveau aux filtres-presses. Quelqu'ingénieux que soient ces procédés, ils ont dû céder le pas à d'autres beaucoup plus simples et tout aussi efficaces, qui consistent à faire passer de l'eau chaude sur les tourteaux dans le filtre-presse même dont on a dû modifier la forme des plateaux.

Gallois, au lieu de construire des filtres-presses spéciaux, a imaginé un robinet particulier que l'on adapte à tous les filtres-presses en usage, et permet d'envoyer tour à tour l'écume, l'eau et l'écume mélangées, et enfin l'eau seule.

La figure 74 représente un filtre-presse muni de son robinet et la figure 75 le détail du robinet. Il se compose d'un robinet ordinaire AC sur le côté duquel est venue de fonte une branche B formant un certain angle avec la direction normale. Le boisseau du robinet est percé d'un trou L légèrement décentré. Il est mis en mouvement par une clé à longues poignées et porte au-dessous de la clé un index en forme de flèche qui se déplace sur un cadran C (fig. 74) faisant corps avec le robinet lui-même.

Sur le cadran sont gravés des traits qui indiquent les points où l'on doit ouvrir le robinet pour avoir le résultat cherché. Enfin pour que la fermeture soit étanche, le boisseau tourne dans un presse-étoupe.

Ceci posé, voici la marche de l'appareil.

Les écumes entrent en A (fig. 75), et B est un tuyau d'eau bouillante.

Le robinet est ouvert en plein, la flèche indique que l'ouverture L se trouve dans la direction normale AC. Les écumes seules passent; alors les cadres s'emplissent d'écume. Au bout de trois ou quatre minutes, lorsque l'écoulement des jus clairs diminue sensiblement, on met la clé dans la position indiquée sur la figure. A ce moment, il entre dans les cadres un mélange d'eau et d'écume; on voit bientôt la densité du jus baisser considérablement, et au bout de deux minutes environ on donne l'eau seule en mettant l'ouverture L en présence du tuyau B seul. La

densité du liquide baisse de plus en plus, et au bout d'une minute à peine, on voit à l'aréomètre qu'il est inutile de pousser plus loin l'épuisement.

Voici ce qui se passe dans ces conditions. Au moment où le jus commence à ne plus couler des cadres, c'est que le tourteau est presque formé et que de nouvelles écumes ont peine à pénétrer à cause de leur

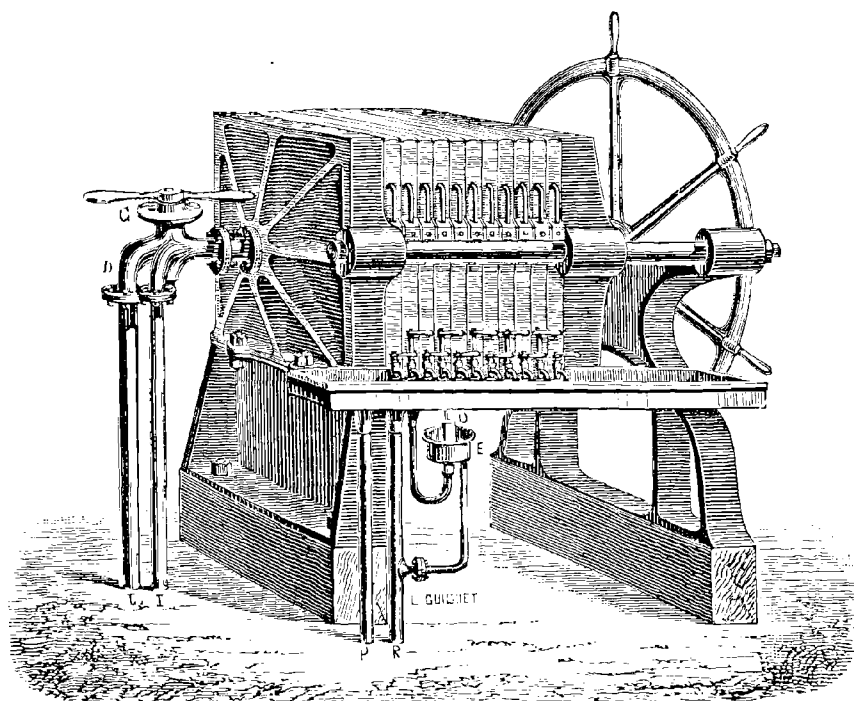


Fig. 74

compacité. En les étendant d'eau par une injection simultanée, le tourteau se complète par l'écume qui pénètre dans les espaces restés vides; bientôt le filtre-press va être complètement plein et l'eau augmente progressivement *d'elle-même*, tandis que la quantité d'écume qui pénètre diminue, et c'est alors que l'on donne le dernier tour de clé qui envoie l'eau seule pour terminer le lavage; dans ces conditions elle traverse facilement toute la masse des tourteaux en chassant et entraînant tout le jus qui l'imprègne et « produit ainsi un lavage rapide, progressif et méthodique ».

Pour connaître la densité des petites eaux, la gouttière qui reçoit les jus est munie d'un tuyau spécial d'évacuation qui permet à volonté de

faire passer les jus soit directement par ce tuyau, soit par un tuyau latéral qui porte une éprouvette O (fig. 74), placée au centre d'une cuvette de débordement E. Dans l'éprouvette plonge un aréomètre gradué à 90°. C'est en lisant les indications de cet aréomètre que l'ouvrier se rend compte du travail de la machine.

Le procédé Gallois a donné autrefois dans toutes ses applications d'excellents résultats constatés par tous ceux qui font de la sucrerie une étude sérieuse. Des analyses de Vivien, Daix, Violette, etc., il ressort que les tourteaux lavés ainsi contiennent à peine le dixième de ce que contenaient les tourteaux non lavés, soit 0,4 pour des tourteaux à 4 % de

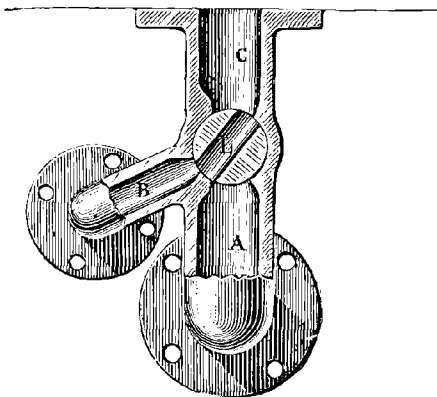


Fig. 75.

sucré ; on est même descendu à 0,2. Quant à la qualité du jus de filtre-pressé, nous avons vu, qu'en général, elle est la même que celle du jus normal ; il en est de même pour ceux provenant du procédé Gallois qui ont été analysés d'ailleurs avec soin.

Mais Gallois recommande le lavage à l'eau bouillante, car si l'écume qui s'est formée au sein d'un liquide bouillant n'abandonne rien à l'eau vers 80 et 100°, il n'en est plus de même pour l'eau froide qui donnerait des petites eaux de filtre-pressé chargées d'impuretés organiques. Il faut donc surveiller la température de l'eau de lavage.

Filtres-pressés à lavage. — Les premiers essais de lavage se firent, comme dans l'appareil Gallois, en envoyant de la vapeur ou de l'eau par le même canal que le jus. Mais il est évident que l'eau, dans ces conditions, doit traverser tout le tourteau sur toute sa hauteur pour l'épuiser. Or, souvent elle trouve des issues plus faciles, par exemple entre le tourteau et la toile, et s'échappe sans avoir produit son effet.

On a pensé alors à un autre moyen qui permet à l'eau de traverser le tourteau sur sa plus faible épaisseur et sur toute sa surface, de sorte qu'aucun point n'échappe. C'est le procédé employé dans tous les filtres-presses maintenant.

Pour arriver à cet effet, le filtre-presse porte un second canal semblable à celui des boues, mais pratiqué dans l'une des encoignures du haut. Ce canal, au lieu de communiquer avec les chambres à tourteaux, porte une ouverture qui dirige l'eau de lavage sur les espaces où s'échappe le jus pendant la filtration. De plus, tous les espaces destinés au jus n'en sont pas munis; ce n'est que de deux en deux plateaux que se trouvent ces ouvertures, sur les plateaux pairs. Alors on ferme tous les robinets des plateaux pairs, et on ouvre ceux des plateaux impairs. On voit ce qui se passe. L'eau se répand derrière les toiles où sont enfermés les tourteaux, traverse les tourteaux, et s'échappe par le robinet ouvert.

Une autre disposition consiste à faire le canal d'arrivée d'eau dans une des encoignures du bas, et de munir les plateaux pairs d'un robinet ou d'une simple tubulure coudée toujours ouverte; l'eau arrive donc par le bas du tourteau et s'échappe par le haut.

Dans l'un et l'autre système on fait l'arrivée d'eau dans l'encoignure qui est en diagonale avec la sortie du jus, de manière à ce que l'eau ait le plus long espace à parcourir. On l'a fait aussi au milieu du cadre en haut, ou même dans deux encoignures à la fois, ce qui prouve que les inventeurs ne sont pas bien fixés sur la meilleure place à donner à l'introduction d'eau.

Avant de laver, dans beaucoup d'installations, on envoie de l'air comprimé qui chasse le jus, puis on fait l'introduction d'eau de lavage. Dans d'autres, on fait le lavage à la vapeur, et l'on arrête celle-ci quand tout liquide cessant de couler, c'est la vapeur elle-même qui commence à passer.

Tels sont les principes du lavage des filtres-presses.

Pour faire un bon lavage, il faut aller lentement, sans grande pression pour laisser à l'eau le temps de pénétrer le tourteau et chasser devant elle tout le jus. En agissant avec lenteur on arrive à faire très peu de petit jus, passant du jus réel à l'eau très peu sucrée presque immédiatement.

Pour doser la quantité d'eau de lavage, on reçoit ordinairement les jus et petits jus dans une nochère graduée. Deux tampons, l'un pour le jus et l'autre pour le petit jus, ferment deux ouvertures très larges pratiquées dans le fond de la nochère, de manière à ce que la vidange soit rapide. On détermine à l'avance jusqu'à quelle graduation on s'arrêtera

pour chaque espèce de jus, ou combien de fois on devra remplir la nochière si elle n'est pas très grande.

Ordinairement c'est une petite pompe spéciale qui donne sous faible pression l'eau de lavage qui doit être chaude, et pour laquelle on emploie généralement l'eau de retour de l'appareil d'évaporation.

Les premiers filtres à lavage semblent être ceux de *Dehne*. Dehne avait ménagé son canal d'eau de lavage dans l'un des angles des plateaux carrés.

Comme cette disposition nécessite de nombreux trous dans les toiles, qui dès lors sont difficiles à ajuster, *Kroog* imagina de faire des oreilles aux cadres, et d'habiller ces oreilles avec des manchons de toile pour faire le joint. C'est dans ces oreilles que s'ouvre le canal. Cette disposition a été adoptée par la plupart des constructeurs, remplaçant le manchon de toile par une bague en caoutchouc.

Enfin les différents constructeurs ont employé soit le système Danck avec cadres intermédiaires, soit le système Trinks, sans cadres. Les grands filtres-presses dont les cadres ont 1 mètre de côté ont surtout adopté la disposition à cadres, qui permet un montage plus facile des toiles, celles-ci n'ayant plus de trous, car on a fait l'entrée des jus boueux également par une oreille. Il en résulte une plus longue durée des toiles et un remontage plus facile du filtre-pressé.

Nous décrivons ci-après quelques-uns des filtres-presses les plus modernes comportant les améliorations les plus perfectionnées dans le lavage et le montage.

Lévigation des écumes. — Ce procédé que nous avons mentionné au début de ce chapitre consiste à délayer le tourteau dans l'eau et à le repasser au filtre-pressé. La macération offre seule quelque petite difficulté, assez facile à vaincre d'ailleurs. On y arrive, par exemple, au moyen d'un appareil, dit *Extracteur* inventé par G. Ledocte, qui, joint à un monte-jus et un filtre-pressé, forme tout le matériel de l'exploitation. On craignait que le jus résultant du pressage des boues, fût impur et ramenât dans les jus normaux une quantité de matières étrangères nuisibles au travail ultérieur. Il n'en est rien, et Ledocte a publié sur ce fait les expériences les plus concluantes. Du jus de répression d'écume peut être carbonaté et cuit en grain comme du jus normal.

L'*Extracteur* se compose principalement d'un tambour creux dont la paroi ou surface est formée d'une toile métallique en fil de fer galvanisé, et d'un récipient ou cuvette en tôle à fond cylindrique. L'axe du tambour est horizontal et porte à l'une de ses extrémités une petite poulie par l'entremise de laquelle il reçoit le mouvement. Ce tambour est garni à

l'intérieur d'une série de tiges placées parallèlement à l'axe et distribuées à des distances inégales du centre, ayant pour mission d'accélérer le délayage des écumes ; reposant par son axe sur deux paliers fixés à la tôle de la cuvette, il plonge dans celle-ci jusqu'à environ 20 centimètres du fond avec lequel il est concentrique. La cuvette ou récipient est munie d'une trémie communiquant avec l'intérieur du tambour, de trois robinets de jauge, d'un barboteur de vapeur et d'un tuyau de vidange débouchant dans un monte-jus. La trémie sert à l'introduction de l'eau et des écumes. Par les robinets de jauge on règle les quantités de liquide à mettre en œuvre. Au moyen du barboteur, on élève au degré convenable la température des résidus délayés avant de les envoyer à la répression. Enfin le tuyau de vidange a pour objet de décharger l'extracteur dès que la réduction des matières soumises à son action est jugée suffisante. Il en déverse le contenu dans un monte-jus avec lequel il est en communication. L'ensemble du mécanisme est d'une extrême simplicité. Dimension : 1^m,50 de long, 1^m,40 de large ; force motrice : 1/2 cheval. Un seul filtre-presse suffit pour un travail de 150,000 à 200,000 kilogrammes de betteraves par 24 heures.

Introduire l'eau (330 litres par 200 kilogrammes d'écumes), puis les écumes, 200 kilogrammes que contient l'appareil, en les jetant par pelletées dans la trémie. De là, elles tombent naturellement dans l'intérieur du tambour qui, plongeant dans le liquide jusqu'à la moitié environ de son rayon, en opère le délayage pour ainsi dire instantané, sous une impulsion rotative de 15 à 20 révolutions par minute. Puis, on injecte la vapeur de manière à élever la température à 70 ou 80°. L'opération dure 8 à 10 minutes. Pour éviter les pesées, si chaque filtre-presse donne 100 kilogrammes d'écumes chaque fois, on opère le délayage des tourteaux de deux filtres-presses par opération.

Les tourteaux délayés sont envoyés par un monte-jus de même capacité que l'appareil sur le filtre-presse de répression. Cette seconde opération dure encore 10 minutes, soit 20 minutes pour une opération totale ; l'appareil ne chôme donc pas et peut, par conséquent, en une heure, macérer 600 kilogrammes d'écumes. Les tourteaux ne contiennent plus que 0,97 0/0 de sucre.

Enfin, Ledocte ajoute que la quantité d'eau employée variera avec les besoins de l'usine, et que plus elle pourra être abondante, plus sera parfaite l'opération, les petits jus obtenus servant à la préparation du lait de chaux.

Quelques usines possèdent encore ce système d'extraction du sucre des écumes et ne veulent pas s'en séparer. Mais le lavage dans les filtres-presses est tellement simple que les installations nouvelles d'ate-

liers de filtration n'en prennent pas d'autre, ce qui fait que les procédés de macération des écumes disparaîtront fatalement, d'autant plus que l'on fait ainsi moins de petits jus qu'avec le procédé Ledocte.

Rendement des filtres-presses. — A l'apparition du filtre-presse Trinks on a constaté qu'il travaillait les écumes de 2.000 à 2.500 kilos de betteraves par 24 heures et par mètre carré de surface de filtration en y joignant le lavage des écumes, et passant tout le jus à travers le filtre-presse.

Depuis, les nombreuses dispositions nouvelles n'ont rien changé à ce rendement. On a même été porté à le diminuer pour obtenir de meilleures filtrations, parlant de ce principe qu'une filtration lente et sous faible pression donne de meilleurs résultats que les mêmes opérations effectuées à haute pression. Les fabricants malheureusement regardent souvent à l'acquisition de nouveaux filtres, soit à cause de la dépense, soit surtout par faute de place dans les anciennes usines. Les chiffres ci-dessus doivent donc être pris pour maximum.

La nature des toiles influe d'ailleurs sur le rendement suivant qu'elles sont plus ou moins serrées, car au bout d'un certain temps elles se chargent d'incrustations qui les rendent impropres à la filtration, surtout à la seconde carbonatation. On emploie généralement des tissus de coton ; la toile à voile en chanvre réussit très bien aussi, surtout en la doublant. Cette dernière a l'avantage sur le coton de moins se *brûler* par la rouille qui se forme sur les plateaux de fonte ; aussi a-t-on proposé, lorsque l'on emploie le coton, de le doubler d'une toile de chanvre reposant directement sur le plateau ; on économise ainsi ses tissus. D'ailleurs, il ne semble pas qu'un tissu très serré donne de meilleurs résultats qu'un autre qui l'est moins ; en effet, sauf à la mise en route, c'est beaucoup plus le dépôt lui-même qui sert de surface filtrante que le tissu.

§ 3. — Filtres-presses.

Les filtres-presses ont des formes très variées suivant les constructeurs. C'est un Anglais, Howard, qui imagina le premier des filtres agissant par pression, en remplacement des filtres Taylor des raffineries ; mais cette idée ne fut reprise qu'en 1853, par W. Teedham, et en 1856, par James Kite. Cependant ces instruments étaient très imparfaits, tout en bois, et ne rendaient pas tout le service que leur excellent principe promettait d'en obtenir. Bientôt Danek remplaçant le bois par le fer, et Trinks apportant de grandes améliorations dans la machine, en firent

un instrument essentiellement manufacturier. Depuis, de nombreux brevets furent pris pour des formes et dispositions différentes apportées aux filtres-presses, parmi lesquels nous retrouvons en 1864, 65 et 66, ceux de Høekner, Roetger et Durieux. Les filtres-presses de Delinc, de Kroog et de Cizek vinrent beaucoup plus tard.

Tous les filtres-presses se composent d'un châssis de fonte et fer présentant à l'une de ses extrémités un plateau fixe vertical, carré ou rond, suivant le modèle. Ce plateau est percé, à sa partie supérieure, ou dans son centre, d'un trou communiquant par un double robinet soit avec la pompe à écumes, soit avec la vapeur à haute pression. A l'autre extrémité, le châssis porte un écrou fixe dans lequel se meut une forte vis, perpendiculaire au centre du plateau fixe, commandée par un bon volant. L'écrou est porté par une pièce de fonte horizontale, résistante et reliée au plateau vertical par deux pièces de fer rond horizontales parallèles entre elles et à la vis, et dans le même plan horizontal. Elles forment entretoises entre la pièce portant l'écrou et le plateau, et sont boulonnées sur l'une et sur l'autre, au moyen de pattes qu'ils présentent à cet effet. Sur ces deux bras horizontaux glisse un autre plateau semblable au plateau fixe, relié à la vis par son centre, de telle sorte, qu'en tournant, la vis l'entraîne en avant ou en arrière; ce plateau est plein. Entre eux, on peut en placer d'autres de même forme, glissant également sur les bras, mais tout à fait indépendants, et que l'on peut à volonté placer ou retirer. Tout le système est soutenu par quatre colonnes ou pieds sur un cadre en fonte que l'on boulonne sur le plancher.

Les filtres-presses, système Danek, se composent d'abord de claies métalliques percées à la partie supérieure d'un trou pour le passage des écumes. Sur les deux faces de ces claies, on place une serviette de chanvre à tissu régulier peu serré. Ces deux serviettes percées d'un trou correspondant à celui de la claie, sont cousues ensemble par les bords de ce trou, de telle sorte qu'elles recouvrent complètement les claies. Entre chaque claie, on place ensuite un cadre de même dimension en fer, qui, pressé contre les toiles, applique ces toiles contre les bords extérieurs des claies. Cadres et claies portent des ailettes ou poignées appuyant sur les bras du châssis sur lesquels ils peuvent glisser. On a donc un système composé d'un cadre, d'une claie garnie de toile, d'un nouveau cadre, d'une nouvelle claie, etc., et enfin, d'un cadre appuyant sur les plateaux des extrémités garnis aussi d'une toile. Au moyen de la vis, on serre fortement le système et les cadres forment ainsi autant de chambres vides, séparées par des toiles et communiquant entre elles par le trou pratiqué en haut des claies et des toiles, et avec l'atmosphère

par la perméabilité des toiles et des claies. Qu'arrive-t-il, quand on lâche dans cet ensemble les boues de carbonatation sous pression ? Les cadres s'emplissent de ces boues, la pression fait filtrer à travers les toiles le liquide qui s'échappe dehors par les claies, et est reçu dans une gouttière. Bientôt, sous l'effet de la pression, les matières solides s'accumulent, se serrent fortement dans les cadres, le jus cesse de couler. Alors on ferme le robinet des boues, et ouvre celui de la vapeur. Celle-ci termine la pression, s'infiltré dans la masse en se condensant en partie ; une nouvelle quantité de jus dilué passe, puis de la vapeur condensée légèrement sucrée, puis de la vapeur. On arrête alors et desserre la vis. En retirant les cadres, on les trouve garnis d'un tourteau solide d'écume qu'un choc fait tomber dans des wagonnets chargés de les emporter au loin. On replace les cadres vides, resserre la vis, et l'appareil est prêt à fonctionner de nouveau.

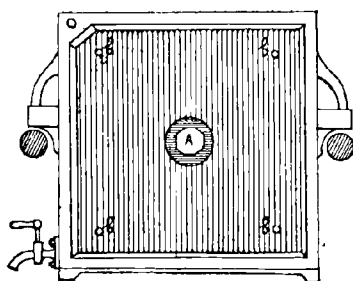


Fig. 76.

La manœuvre des cadres est longue et finit par devenir pénible. Trinks imagina de supprimer les cadres et de les remplacer par une cavité ménagée naturellement entre les claies. A cet effet, les claies (fig. 76), sont fixées dans un cadre épais ou plutôt remplacées par une surface cannelée sur ses deux faces, qui sont couvertes d'une tôle carrée percée de trous, et présentant sur chaque face un rebord en saillie. Le trou A, par lequel passent les écumes, est dans le milieu de la plaque ; les toiles ou serviettes sont d'une seule pièce, à cheval sur la claie ; deux trous y sont ménagés correspondant à celui de la claie, et un gros écrou de bronze, perforé largement dans son axe, relie les deux bords de ces ouvertures de la toile et les applique contre la claie pour empêcher l'écume de se répandre dans la claie par le pourtour du trou. Enfin, chacun de ces cadres est garni à la partie inférieure d'un robinet, par lequel sort le jus filtré, de telle sorte que, dans le cas où la toile crève, on ferme le robinet, et la claie ne fonctionne plus, sans que le travail

du filtre-presse soit arrêté. On place environ onze de ces claies sur les bras du châssis, et lorsqu'ils sont serrés, ils présentent, grâce à leur rebord, une série de douze cavités séparées par des surfaces filtrantes. Lorsque la pression est finie et la vapeur donnée, on desserre ; les cavités se trouvent pleines de tourteaux amincis sur les bords. Deux ouvriers, placés de chaque côté, nettoient les toiles avec un long couteau de bois, en faisant glisser l'un après l'autre les châssis ; les tourteaux tombent entre les pieds dans des wagonnets ou des boîtes placés en dessous ; on resserre et le filtre-presse est prêt à servir, sans avoir nécessité, pour toute l'opération, grande dépense de force.

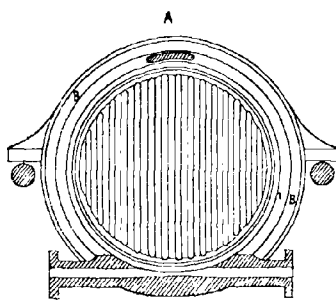


Fig. 77.

Les filtres-presses ronds, Durieux et Roettger, dont la figure 77 représente un des plateaux, sont basés sur le même principe et ne diffèrent dans la manœuvre que par la disposition des toiles. En effet, ces toiles ne sont pas percées, l'ouverture par laquelle passent les boues A étant pratiquée dans la partie métallique du cadre. Les serviettes qui sont rondes sont portées sur un cercle de fer qui entre exactement dans une cavité pratiquée à cet effet dans l'épaisseur du cadre, et qui y est retenue par des vis à tête fraisée d'une forme particulière. De la sorte, les toiles offrent plus de résistance à l'usure et sont assez vite changées. Le joint entre les plateaux se fait au moyen d'un cercle en caoutchouc enchâssé dans le cadre. Ce modèle est abandonné aujourd'hui, mais c'est le premier essai qui fut tenté de supprimer la perforation des toiles.

Il existe d'autres filtres-presses anciens, construits sur les mêmes principes et qui n'en diffèrent que par des améliorations secondaires. Nous citerons entr'autres le filtre-presse Farinaux, qui, pour éviter l'usure provenant du frottement des oreilles des plateaux sur les bras du bâti, ce qui a pour conséquence de donner une étanchéité moindre du contact des plateaux les uns contre les autres, les suspend à une

traverse spéciale placée au-dessus et dans l'axe de l'appareil au moyen de crochets ou d'étriers de fer faciles à régler pour rattraper l'usure. Ce même inventeur a construit un modèle qui consiste à supporter les plateaux sur deux rails placés également à la partie supérieure, au moyen de galets calés sur un arbre à manivelle qui permet à un seul homme le maniement des plateaux et leur nettoyage, au lieu de deux que nécessitent les autres filtres-presses, l'écartement des plateaux se faisant sans effort et bien parallèlement au moyen de la manivelle.

Depuis cette époque la forme des plateaux a un peu changé, à cause des modifications que l'on a dû leur faire subir pour appliquer le lavage des tourteaux dans le filtre-presse. Nous y reviendrons plus loin.

§ 4. — Filtres-presses modernes

Les filtres-presses sont construits aujourd'hui dans tous les bons ateliers, et rivalisent de perfectionnements.

Un bon filtre-presse, outre ses qualités de solidité, doit être commode à manier, doit présenter toutes les facilités possibles pour le changement des serviettes et l'entretien de leur longue durée, et enfin permettre un désucrage sinon absolu ce qui ne peut pas être, au moins aussi parfait que possible des tourteaux.

Les filtres-presses peuvent se classer en deux catégories, suivant qu'ils sont à plateaux et à cadres comme les anciens Danck, ou à plateaux seuls comme les anciens Trinks.

Leurs dimensions peuvent les classer aussi en filtres-presses ordinaires, à plateaux de 600 à 700 millimètres, grands filtres-presses, à plateaux de 1 mètre, et filtres-presses monstres ou doubles, qui ne sont que deux grands filtres-presses montés sur le même bâti.

Avec les grandes dimensions qu'affectent maintenant les filtres-presses, les cadres entre plateaux semblent assez nécessaires. Mais dans les petits filtres-presses on a toujours intérêt à supprimer les cadres qui sont une manœuvre supplémentaire. Aussi avaient-ils disparu complètement depuis que l'on possédait les filtres Trinks à introduction centrale. Aujourd'hui l'introduction se fait latéralement par des oreilles venues de fonte avec les plateaux, de manière à ne plus trouser les toiles. On a donc été obligé de revenir aux cadres, même dans les petits filtres-presses, l'introduction se faisant entre les toiles par l'intermédiaire des cadres.

Filtre-pressé Mariolle-Pinguet. — Mariolle-Pinguet a voulu parer à cet inconvénient, et il y est arrivé d'une façon ingénieuse, de la manière suivante (fig. 78, 79, 80, 81, 82 et 83).

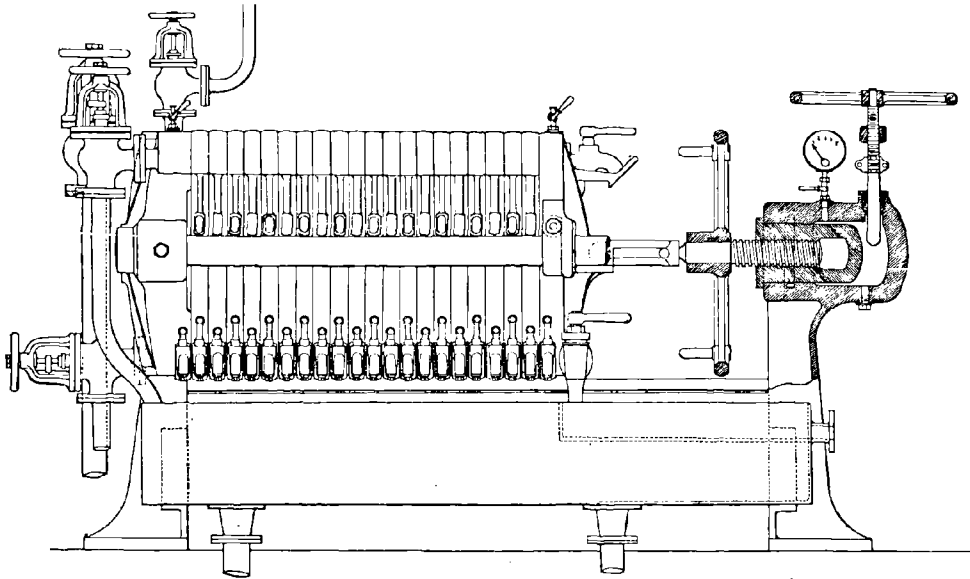
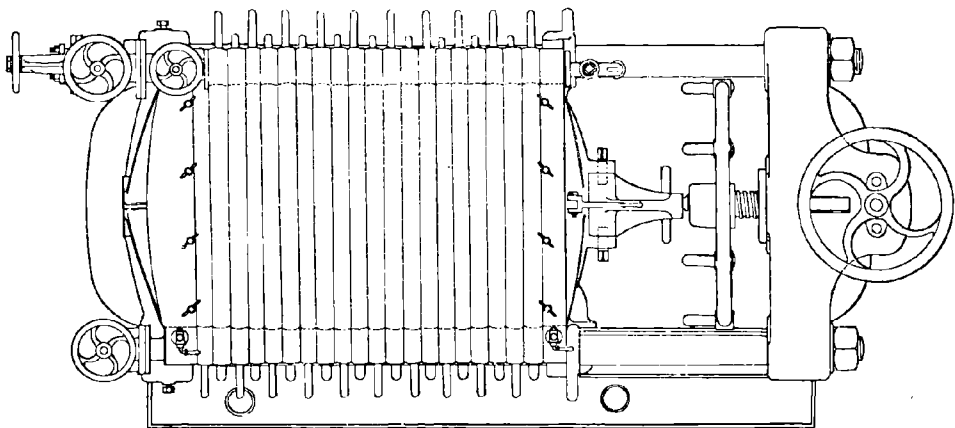


Fig. 78.



[Fig. 79.

L'introduction du jus chaulé se fait en haut à gauche par un canal latéral comme dans les autres appareils du même genre (fig. 81). Dans

l'ouverture que ce canal laisse dans chaque plateau est ajustée une pièce en bronze mobile, sorte de tuyau de même section que celle du canal, mais qui porte une tubulure latérale ayant la forme d'une demi-ellipse verticale (fig. 83), pour lui donner également une grande section.

Cette tubulure sert à l'introduction du jus boueux entre deux plateaux consécutifs et est placée de son côté arrondi dans un logement ménagé dans la fonte.

On commence donc par mettre les toiles, puis, par-dessus, on place

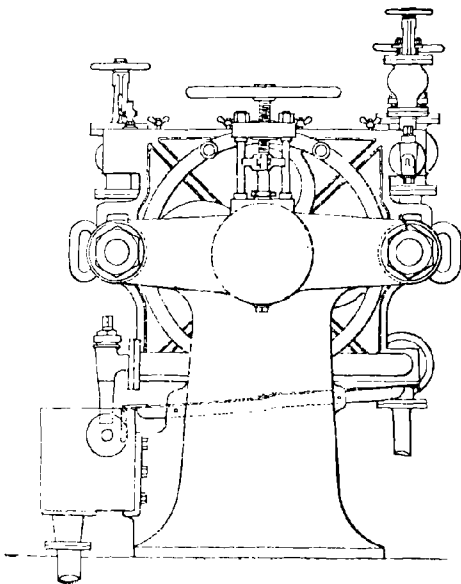


Fig. 80.

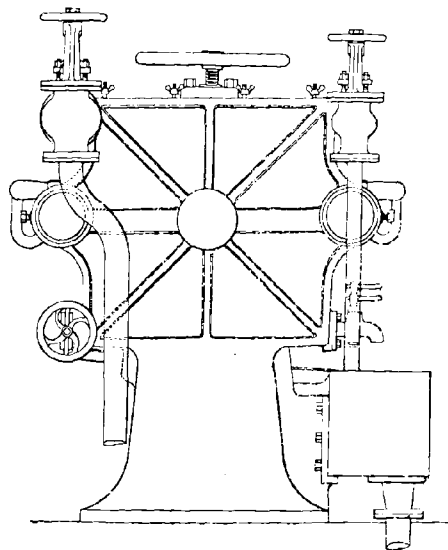


Fig. 81.

la tubulure mobile, dont la partie arrondie fait joint sur la toile, et la partie plane se serre sur le plateau suivant.

De la sorte, on n'a plus besoin de cadres, la tubulure mobile remplissant le même but, et les plateaux travaillent comme dans les Trinks sans que les toiles soient percées.

Ce système a l'avantage de diminuer le poids total des cadres, la longueur du filtre-presse de diminuer également de moitié le nombre des joints, ce qui est un grand intérêt au point de vue des fuites, et enfin de simplifier la main-d'œuvre pour la vidange du filtre-presse, tous avantages qui avaient autrefois fait adopter les Trinks et rejeter les Danek.

D'ailleurs tous les autres éléments du filtre-presse sont très bien étudiés. Tous les joints des canaux pour jus et lavages sont en caout-

chouc à fermeture hydraulique, la pression forçant le caoutchouc à s'appuyer sur les cadres.

Remarquons aussi la construction des plateaux (fig. 82) dont l'âme intérieure ordinairement en fonte cannelée, sujette aux ruptures et à l'obstruction, est remplacée par des barres de fer carrées placées verticalement et parallèlement l'une à l'autre à un intervalle de quelques centimètres, et à dilatation libre, et de telle manière que les plaques en tôle perforée s'appuient sur les angles des barreaux. Cette disposition assure donc une grande solidité en même temps qu'une grande surface de filtration.

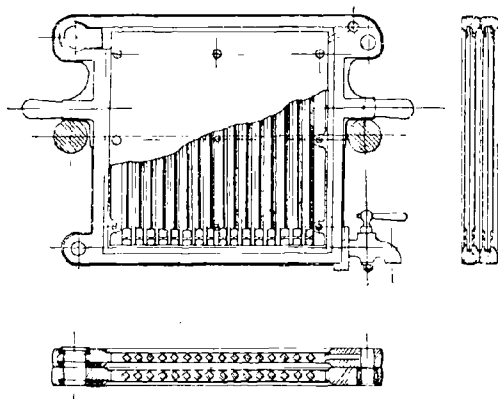


Fig. 82.

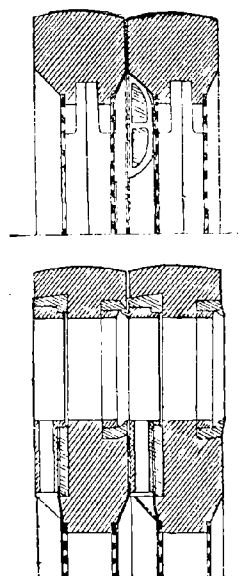


Fig. 83.

Enfin le serrage se commence avec une vis et se termine par l'action, en bout de la vis même, d'une presse hydraulique faisant corps avec le bâti, ce qui permet d'atteindre facilement la pression de 100 kilogrammes par 100 mètres carrés nécessaire pour les joints (fig. 78).

Tout est donc admirablement étudié dans ce filtre-pressé qui sort des errements connus. Le poids de chaque tourteau dans l'appareil, avec des cadres de 800 millimètres, est de 17 kilogrammes. 30 chambres peuvent donc contenir 510 kilogrammes d'écumes. Il est muni, bien entendu, de tous les engins ordinaires pour lavage des écumes.

La maison Mariolle-Pinguet construit sur le même modèle des filtre-pressés de 1 mètre, ce qui prouve que même dans les grands modèles on peut supprimer les cadres sans inconvénient.

Filter Cizek. — Le filtre Cizek réunit tous les perfectionnements que l'on a cherché à apporter aux filtres-presses à l'étranger. Il présente en outre quelques points particuliers intéressants. Il peut être simple ou double.

L'appareil (fig. 84) est double, forme 80 compartiments pour chaque moitié, soit 160 pour la totalité.

Un tel filtre-presses suffit pour un travail de 400.000 kilogrammes de betteraves par 24 heures.

Les cadres et plateaux ont 900 millimètres de hauteur et 800 de largeur; épaisseur des cadres 26 millimètres et des plateaux 24 millimètres.

La fermeture se fait à la presse hydraulique, avec écrou d'arrêt sur le piston pour empêcher le recul quand l'action des pompes est terminée.

La tête commune aux deux filtres-presses est au milieu, formée par un fort plateau sur lequel se trouvent les entrées de jus et d'eau. A droite et à gauche de

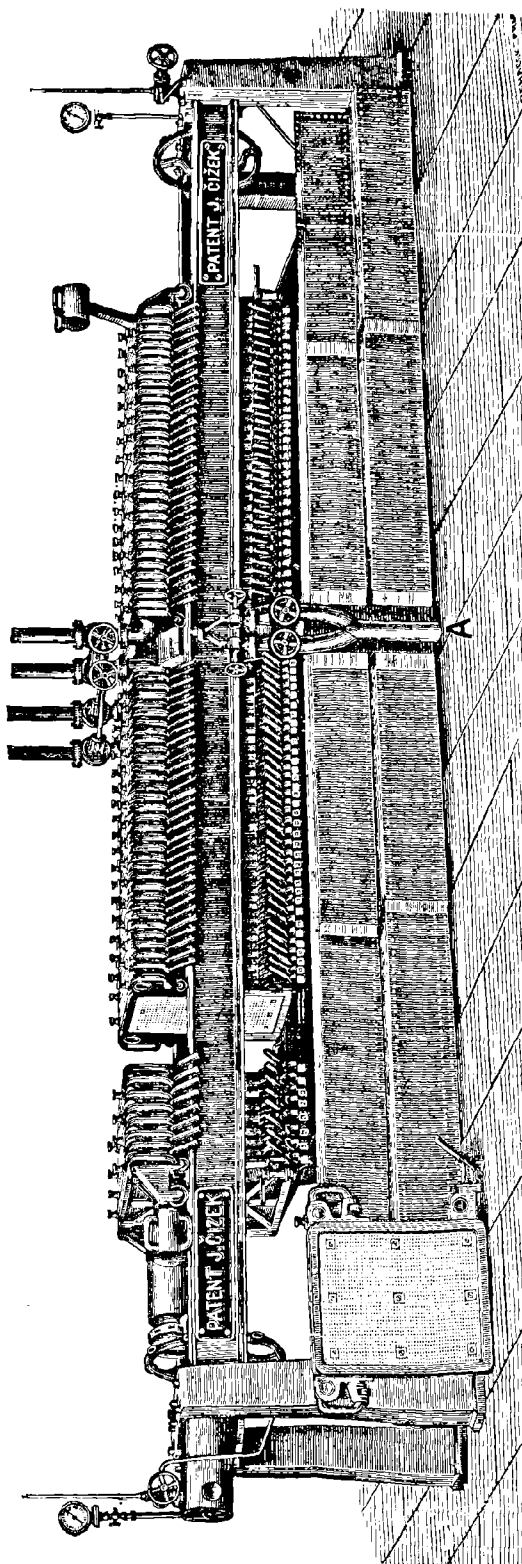


Fig. 84

ce plateau, de forts sommiers supportent les cadres dont les robinets de sortie de jus sont tous sur le même front.

Les joints des cadres sur les plateaux sont faits par des garnitures en caoutchouc. Les cadres et plateaux portent en bas un canal latéral pour les jus carbonatés, et dans le haut deux canaux à eau de lavage. Enfin en haut également un petit canal pour l'échappement de l'air avec soupape automatique.

Plateaux et cadres se déplacent sur les sommiers en roulant sur des galets.

La sortie du jus est munie, en guise de robinets, de sortes d'ajutages à clapets extérieurs tenus en place au moyen d'un étrier muni d'un levier qui force sur un plan incliné disposé sous le clapet. Ces clapets Cizek sont une réelle amélioration aux filtres-presses, quoique ce ne soit qu'un petit détail; aussi beaucoup de constructeurs en font-ils d'analogues.

Les filtres Cizek ont tous les canaux et ouvertures pour le jus et l'eau fort larges, conditions que l'on doit remplir d'ailleurs toujours pour avoir un emplissage et un coulage réguliers sur toute la longueur de l'appareil.

L'avantage des grands filtres-presses sur les petits est que, la manœuvre étant à peu près la même, les ouvriers ont beaucoup moins de travail avec les premiers, puisqu'ils se vident et se remontent moins souvent. Il y a aussi l'avantage d'avoir moins de jus de mise en route qui est toujours trouble, puisqu'on met en route moins souvent. De plus les démontages étant moins répétés les ouvriers ont tout le temps nécessaire pour faire le remontage avec soin et sans précipitation, ce qui est un grand point.

En seconde carbonatation, par exemple, les grands filtres travaillent presque 24 heures sans démontage, coulant sans cesse du jus clair, au grand avantage des filtres et de l'évaporation.

Dans les grands filtres-presses la pression est beaucoup plus uniforme et beaucoup plus constante que dans les petits, à cause du temps plus grand de l'emplissage, en sorte que le rendement par mètre carré de surface filtrante est plus considérable.

En général il ne faut pas plus de 70 à 80 litres d'eau de lavage par 100 kilogrammes d'écumes. Dans les grands filtres-presses ces quantités sont plus faciles à obtenir que dans les autres, l'incertitude étant moindre à cause du moins grand nombre d'opérations.

Les ouvriers sont en effet toujours portés à écourter ou prolonger la fin du lavage quand le nombre des opérations est considérable comme avec les petits filtres-presses.

Enfin, dans les filtres Cisek, les deux canaux à eau sont destinés à laver les tourteaux tantôt par la droite tantôt par la gauche du plateau, ce qui, paraît-il, use moins les toiles.

On objecte aux grands filtres-presses que dans le cas d'accident sur une chaudière, ou de passage d'un mauvais lot de betteraves, on aura beaucoup plus d'embarras sur les grandes masses d'écumes que sur les petites.

Une chaudière suffit pour empêcher le coulage d'une grande quantité de jus, et, dans ce cas, il est plus aisé de se débarrasser et de perdre la pressée d'un petit appareil que d'un grand, la perte étant moindre.

Cizek, pour défendre son appareil, prétend au contraire qu'une mauvaise chaudière est réparée par les autres, et que le passage ralentit un instant se rétablit lorsqu'arrive du jus bien travaillé.

Nous nous sommes étendu sur cette comparaison entre les petits et les grands filtres-presses, parce que l'emploi des grands appareils tend à se généraliser et que les fabricants se demandent parfois s'ils ont intérêt à adopter tel ou tel modèle. Les raisons ci-dessus les renseigneront sur celui qui convient le mieux à leur travail.

§ 5. — Pompes à écumes.

Les jus carbonatés sont refoulés dans les filtres-presses au moyen de pompes spéciales qui doivent être telles que la pression sur les liquides ne dépassent jamais une quantité donnée, 3 atmosphères en moyenne.

Ce résultat est obtenu dans les nombreux systèmes proposés par les moyens suivants.

Le diamètre du piston de la machine à vapeur qui met les pompes en mouvement et le diamètre du piston de ces pompes sont calculés de telle sorte que la différence de la pression qu'ils supportent soit égale au maximum de pression qu'on veut obtenir pour une pression donnée aux générateurs. Ainsi si la surface du piston à vapeur est 1 et celle du piston est 2, avec une pression de 5 atmosphères aux générateurs, la machine s'arrêtera théoriquement lorsqu'il y aura 2 1/2 atmosphères de pression derrière le piston de la pompe.

En calculant convenablement son rapport on aura donc une machine équilibrée pour la pression voulue.

Un autre moyen est d'actionner le régulateur de la machine par un petit piston qui se soulève et ferme le régulateur quand la pression voulue est obtenue. Si la tige du petit piston agit sur un fléau de balance équilibré, la fermeture sera progressive. Le régulateur ferme en même temps la circulation des liquides boueux.

Enfin en accouplant deux systèmes semblables de pompe et de machine motrice sur le même arbre coudé, en donnant un angle de 50 degrés aux deux manivelles, il n'y aura pas de point mort à un pareil couple et lorsque la pression voulue sera obtenue la machine s'arrêtera. Elle se remettra en marche lorsque la pression diminuera dans les filtres-presses, sans qu'on ait besoin de s'en occuper.

C'est sur ces principes réunis que sont installées toutes les pompes à écumes. Ajoutons, pour terminer la description générale, qu'une forte bouteille d'air placée sur le refoulement porte le tuyau qui actionne le régulateur, ainsi que le manomètre qui sert à régler une fois pour toutes le jeu des pompes.

Pompe Dehne. — Le bâti est vertical, deux cylindres à vapeur intérieurs au bâti actionnent le même arbre coudé en vilebrequin qui surmonte tout le système et porte au milieu un volant de petite dimension suffisamment pesant. Les pompes à piston plongeur, au nombre de quatre accouplées deux à deux, sont à l'extérieur du bâti. Elles sont boulonnées sur celui-ci, ce qui permet de les enlever pour les réparations. La bouteille d'air est placée derrière dans l'axe de l'appareil, et en avant se trouve le régulateur excessivement sensible adopté dans ce genre de machines.

On construit aussi des pompes à écumes horizontales sur le même système.

Enfin, pour le lavage des écumes, l'eau est refoulée par des petites pompes à pistons équilibrés de même système et qui n'ont pas besoin de régulateur à cause du travail moins pénible et plus régulier qu'elles ont à faire.

Régulateur de pression D. Legat. — Legat a imaginé un régulateur de pression remarquable pour les pompes à écumes (fig. 85).

La vapeur, qui met en mouvement les pompes, traverse une soupape équilibrée D. Une tige centrale FF, maintenue en haut et en bas par deux membranes métalliques MN identiques, retient la soupape sur son siège, si rien ne vient troubler leur équilibre. Pour produire l'ouverture de la soupape, deux ressorts RR fixés aux extrémités d'entretoises BB', appuient sur le haut de la tige centrale. Mais, d'autre part, la membrane métallique du bas N est enfermée dans une chambre G mise en communication par un petit tuyau avec l'espace dans lequel s'exerce la pression des pompes, c'est-à-dire, dans le cas que nous citons, avec la bouteille d'air des pompes à écume. On conçoit alors que si la pression dans la bouteille d'air fait équilibre, en N, à la pression des ressorts qui s'exerce

en M, la soupape se fermera, et la vapeur ne passant plus, la machine s'arrêtera. Il suffit donc de régler la tension des ressorts au moyen du volant A pour obtenir aux filtres-presses la pression désirée.

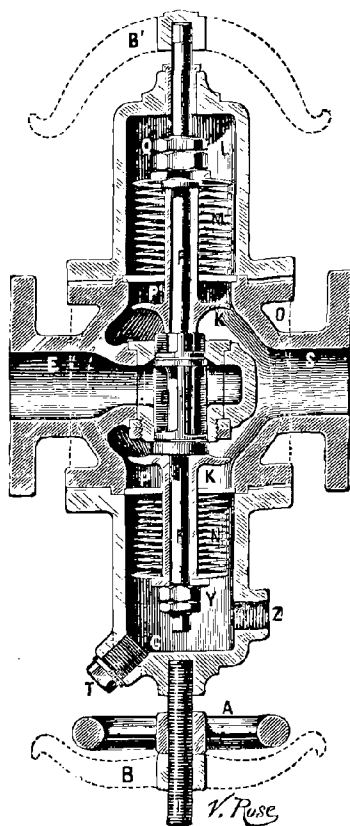


Fig. 85

Ce régulateur est d'une grande sensibilité et est appelé à rendre de réels services dans la construction des pompes à écumes. Car on peut utiliser, grâce à cet appareil, toutes les pompes à action directe, Worthington ou autres.

CHAPITRE DEUXIÈME

FILTRATION MÉCANIQUE

§ 1. — Historique.

Depuis longtemps en France la filtration sur le noir avait perdu de son importance. Certaines usines en étaient arrivées à employer tellement de vieux noir et si peu de noir neuf, revivifiant sans cesse sans s'inquiéter du pouvoir épurant qui restait après ces revivifications successives, qu'en réalité les filtres ne faisaient plus l'office que d'appareils retenant mécaniquement les matières en suspension dans les jus.

Malgré cela on tenait au noir auquel on attribuait encore des propriétés épurantes en dépit des mauvaises conditions dans lesquelles on l'employait.

En 1878 Oscar Puvrez proposa un procédé de *filtration économique des jus et sirops* consistant à faire passer les liquides dans des poches ou boyaux en tissu fin, fort habilement choisi d'ailleurs, que l'on fixerait sur le robinet de vidange des bacs. Cette filtration n'avait pour but dans le principe que d'épargner l'encrassement du noir par les particules solides retenues par une toile, d'où économie de noir, de main-d'œuvre, etc.

Naturellement les esprits forts d'écrire dans les journaux techniques que c'était du vieux-neuf et que depuis longtemps on passait les jus sur des filtres à toile, qui sur des filtres-presses sans lavage, qui sur des filtres Taylor, et cependant il était impossible de trouver une installation complète et continue de tous les systèmes que l'on évoquait du tombeau.

Le fait est que cette idée si simple avait déjà hanté des esprits éclairés, mais n'avait jamais eu de suite, probablement parce que le choix du tissu n'avait pas été étudié avec assez de persévérance. Oscar Puvrez s'attacha au contraire au choix du tissu et remporta de suite un grand succès.

Non seulement ces filtres, connus de suite sous le nom de *Poches Puvrez*, eurent un succès rapide et légitime, mais encore on reconnut vite

que l'on pouvait les substituer aux filtres à vieux noir auxquels on était habitué déjà dans nombre d'usine, et de l'apparition des poches Puvrez date la disparition complète du noir en sucrerie.

Mais il y eut bientôt un mouvement de recul. Il ne pouvait pas se passer un accident de fabrication sans que les poches Puvrez en fussent cause. « Ah ! si nous avions notre noir pour réparer cela ! » disaient non seulement les fabricants, mais encore les maîtres ès science sucrière.

C'est qu'en effet on faisait du noir en sucrerie le redresseur des torts des fabricants. Mauvaise carbonatation, vite du noir, sirop ne cuisant pas, encore du noir ; et si les filtres ne suffisaient pas on faisait bouillir le sirop avec du noir fin, du sang, et l'on refiltrait encore !

Avec les poches Puvrez, finis ces tours de main dont le noir était le principal agent ! Alors que faire ?

On étudia de plus près les méthodes les meilleures de travail, on régla les carbonatations, on soumit toute la fabrication au contrôle chimique, et la filtration mécanique *sans noir* s'intronisa définitivement dans le domaine de la fabrication courante. Telle est en peu de mots l'histoire de la filtration mécanique.

Après les poches Puvrez parurent des quantités innombrables de filtres répondant mieux aux besoins industriels, mais tous faisant usage de la toile adoptée pour les poches, puisque c'est cette toile qui en fit le succès. Ce fut d'abord le filtre Puvrez perfectionné, ressemblant à un filtre-pressé et filtrant deux fois les jus. Puis, presque en même temps (1885) le filtre Loze et Hélaers à effets multiples, mieux disposé pour filtrer les liquides autant de fois qu'on le voulait dans le même appareil ; puis les osmo-filtres, transformation des osmogènes en filtres à toiles.

Le premier filtre qui sortit des formes précédentes fut celui qui est connu sous le nom de filtre Breinfeld-Danek, et qui a été inventé à Kieff par Prokch un des ingénieurs de cette maison vers 1887. Ce filtre a immédiatement servi de type à beaucoup d'autres, d'abord au filtre Kazalowsky qui en est une copie presque servile, puis enfin au filtre Philippe qui résume tous les perfectionnements qu'on pouvait lui apporter, et qui est certainement le plus pratique de tous ceux qui sont répandus dans le commerce de l'industrie mécanique.

Nous allons passer en revue la description des principaux de ces appareils.

§ 2. — Poches Puvrez.

Les poches Puvrez étaient dans le principe de longs boyaux d'étoffe de 30 centimètres de diamètre environ avec une longueur variant de 2 à 3 mètres, fermés par un bout, l'autre étant lié par le moyen d'une

corde au bec du robinet des bacs décanteurs. On plaçait ces sacs dans la rochère de décantation en les supportant sur une toile métallique pour qu'ils ne reposent pas sur le fond.

Plus tard O. Puvrez rendit son installation plus pratique en construisant son *bac-filtre*. C'était un bac de trois mètres de long dans lequel on étendait deux, trois ou quatre poches parallèles, reposant également sur toile métallique. Des ajutages, en nombre égal aux poches, étaient ménagés à chaque bout à l'intérieur du bac, et deux tuyaux collecteurs desservaient ces ajutages, au moyen de robinets. Le boyau était lié par ses deux extrémités aux ajutages, et le jus entraît par l'un des bouts de la poche. Quand une poche ne filtrait plus, on fermait l'arrivée de jus, ouvrait le robinet à l'autre extrémité, et la poche se vidait dans le bac à jus trouble. Elle pouvait ainsi être facilement remplacée sans crainte de souiller le jus clair retenu dans le fond du bac. Plus tard O. Puvrez imagina son *filtre perfectionné*; c'était un appareil ressemblant à un filtre-pressé, seulement les plateaux étaient divisés en deux compartiments inégaux, l'un deux fois plus grand que l'autre. Le jus à filtrer passait dans les grands compartiments; puis, au moyen d'une tuyauterie, les jus déjà clairs étaient envoyés dans les petits compartiments pour se filtrer une seconde fois. C'était le premier filtre-mécanique qui voyait le jour.

Les appareils Puvrez eurent une grande vogue, mais prenaient beaucoup de place. Ils devaient disparaître devant d'autres plus perfectionnés. Car l'élan était donné et les inventeurs ne manquèrent pas pour essayer d'améliorer et rendre plus pratique cet outil qui déjà s'imposait aux fabricants de sucre. D'ailleurs la mort prématurée de O. Puvrez donna le champ libre à toutes les compétitions.

§ 3. — Filtre Loze et Hélaers.

Ce filtre diffère sensiblement du filtre perfectionné de Puvrez, dont cependant il a adopté tous les principes. Ils sont d'ailleurs presque contemporains. Au lieu de filtrer les jus une seconde fois dans des compartiments séparés qui constituent réellement un second filtre, Loze et Hélaers ont fait la seconde filtration dans les compartiments contigus à celui de la première filtration. L'appareil se compose donc d'une sorte de filtre-pressé à cadres en bois. Le jus entre dans un compartiment, se filtre dans un second compartiment sans issue, d'où il ne sort qu'en se filtrant dans un troisième compartiment qui porte le robinet de vidange.

Sur un filtre à 47 cadres par exemple, le jus entre dans le troisième et sort par le premier et le cinquième, le second et le quatrième étant

intermédiaires. Puis le jus entre dans le septième et sort par le cinquième et le neuvième, les cadres 6 et 8 étant intermédiaires, et ainsi de suite. C'est ce que les inventeurs ont nommé *filtre à double-effet*. On peut le rendre à *triple-effet* en filtrant sur trois compartiments successifs, ou à *simple effet* en ne filtrant que dans un seul.

Le filtre Loze est encore très employé à cause de la facilité de sa construction. Son rendement est d'ailleurs sensiblement le même que celui des filtres plus modernes. Seulement son encombrement est beaucoup plus considérable, ce qui fait qu'il n'est utilisable que dans les usines ayant beaucoup de place, et elles sont rares.

Osmo-filtres. — On a nommé ainsi des filtres analogues au précédent, mais pouvant se transformer facilement en osmogènes, en remplaçant les toiles par des papiers-parchemin. L'idée en est venue de ce fait que quelques fabricants transformèrent leurs osmogènes en filtres. Les inventeurs profilèrent de cette idée pour la rendre pratique et lui appliquer un nom commercial.

§ 4. — Filtres divers.

Filtre Breitfeld Danek (Prokch) (fig. 86, 87). — Il consiste en une bêche en tôle, fermée hermétiquement par un couvercle qui repose sur joint en caoutchouc, et dans laquelle on introduit le jus ou sirop à filtrer sous une pression de deux à trois mètres du liquide.

A l'intérieur de la bêche se trouve la surface filtrante, composée de sacs tendus sur une tôle ondulée. Cette tôle ondulée est pendante, les ondulations étant dans le sens vertical. La tête de la tôle est prise dans une rainure pratiquée dans un tuyau de fer, et ce tuyau de fer, dont un bout est bouché et l'autre ouvert, est fixé horizontalement dans le haut de la bêche de la manière suivante.

Dans le bout ouvert pénètre l'ajutage d'un petit conduit qui sort hors de la bêche, et contre le bout fermé, formant crapaudine, s'appuie la pointe d'une vis de pression manœuvrée du dehors au moyen d'une clef. Le tuyau de fer ainsi que la tôle ondulée se trouvent pris dans la toile filtrante, et le tout est suspendu ainsi parallèlement à l'une des faces de la bêche.

A cause de la faible épaisseur de cette surface filtrante on peut suspendre ainsi 30 de ces tôles dans la bêche, et chacune représentant 1 mètre carré, on a ainsi un appareil ayant 30 mètres de surface filtrante, et qui n'occupe pas sur le sol plus d'un mètre carré d'emplacement.

L'appareil fonctionne donc de la manière suivante : le jus ou sirop

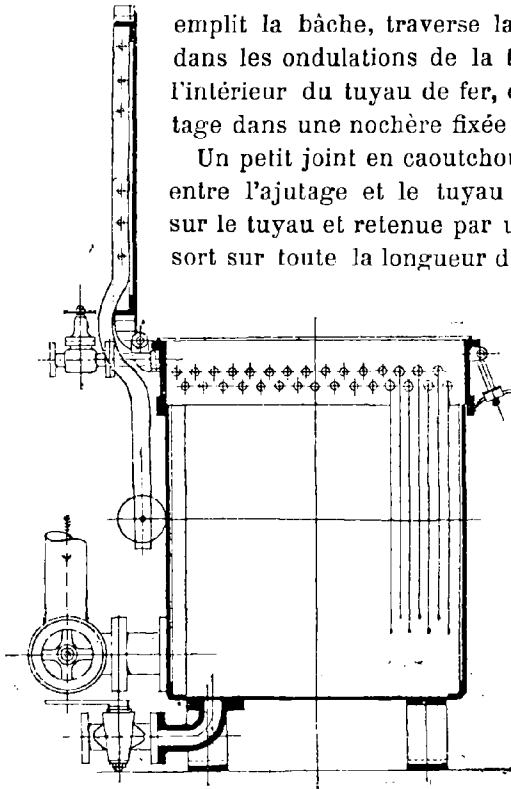


Fig. 86.

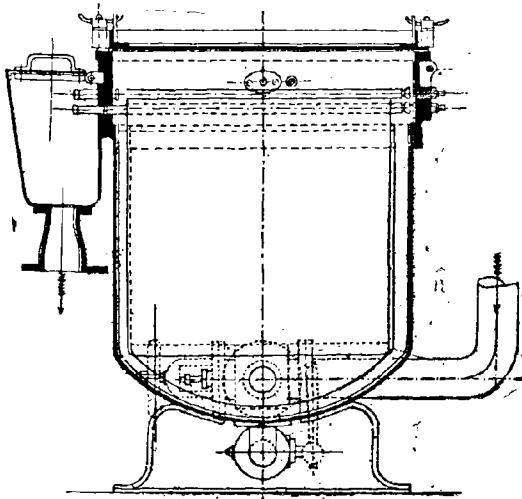


Fig. 87.

emplit la bêche, traverse la toile, se répand et monte dans les ondulations de la tôle qui se prolongent dans l'intérieur du tuyau de fer, et s'écoule dehors par l'ajutage dans une nochère fixée sur cette bêche.

Un petit joint en caoutchouc empêche le jus de passer entre l'ajutage et le tuyau de fer. La toile bien serrée sur le tuyau et retenue par une lame de fer qui fait ressort sur toute la longueur du tuyau, empêche également

le jus de passer dans ce tuyau autrement qu'à travers la surface filtrante. On a donc sous un petit volume un système puissant de filtration.

Un fait particulier se passe pendant la filtration.

Les boues s'accumulent sur les toiles, et lorsque l'épaisseur forme un poids de boue que leur cohésion ne peut supporter, elle tombe. Le fait est que dans le fond de la bêche on retrouve une quantité considérable de boue qui ne peut s'expliquer par la décantation du liquide, et que les filtres Breitfeld-Danek ont une durée en effet-utile considérable.

Ainsi on compte que chaque mètre carré peut filtrer par 24 heures 100 hectolitres de jus, ou 75 hectolitres de sirop à 22, ou 35

hectolitres de sirop à 30° Baumé. Un filtre de 30 mètres peut donc filtrer 3000 hectolitres de jus ou 2250 hectolitres de sirop à 22, ou 1050 hectolitres de sirop à 25. Ces filtres font beaucoup plus si l'on veut, mais dans cette moyenne on est assuré d'obtenir des sirops et des jus admirablement filtrés.

Nous avons vu le filtre appliqué en raffinerie pour des sirops à 40° Baumé bouillants, et donner des résultats inattendus comme limpidité et quantité filtrée.

Filtre Kazalowsky. — La seule différence importante que ce filtre présente avec le précédent, c'est que la tôle ondulée est remplacée par une toile métallique épaisse, genre Liebermann, et soutenue tout autour par des barrettes de cuivre. Les joints sont d'ailleurs moins bons.

Filtre Bouchon. — L'un des promoteurs les plus influents en France de la filtration mécanique en sucrerie est sans contredit A. Bouchon, propriétaire de la sucrerie de Nassandres. Dès 1886 il appliqua d'une façon générale la filtration sur toile dans tous les postes de son usine, et depuis cette époque il n'a décessé de prêcher aux fabricants, ses confrères, les bons résultats que l'on en obtenait.

De plus, ne trouvant pas dans les filtres existants les commodités qu'il désirait pour ce genre d'appareils, il en construisit un ayant la forme générale de tous ceux que l'on connaît, cuve avec poches pendantes, mais il munit chacun des orifices de sortie, d'un robinet spécial qui permettait, par un simple tour de clé, de fermer la sortie en cas de rupture de la toile, ou bien de faire passer de l'eau ou de la vapeur dans les poches afin de les nettoyer sans avoir besoin de démonter le filtre. Ce système permet de se servir des filtres beaucoup plus longtemps sans avoir besoin de changer les toiles.

Filtre Philippe (fig. 88, 89, 90). — Le filtre Philippe est le seul qui soit entré en réelle concurrence avec le filtre Breiffeld-Danek. Il présente, en effet, des qualités remarquables dans son agencement qui le font fort apprécié des fabricants et préférer à tout autre modèle.

Dans le filtre Philippe le couvercle est supprimé, avec son contre-poids si encombrant. L'espace qu'il occupe est donc presque moitié de celui nécessité par un filtre Danek.

Le dessus de la caisse est clos, et présente une série de lumières pour laisser passer les sacs et leur support intérieur, tôle ondulée, toile métallique ou autres. Par-dessus chacune de ces lumières on place un

chapeau qui enferme tout le système, et porte en avant une tubulure pour la sortie du jus.

Le joint de chaque chapeau est fait sur le dessus de la caisse par la toile elle-même des sacs. Ceux-ci présentent, en effet, à leur partie supérieure un bourrelet en caoutchouc, ou en corde parfaitement uniforme, que l'on pince entre le chapeau et le rebord des lumières. Des vis de serrage à ressort, facilement démontables, tiennent les chapeaux en place et assurent l'étanchéité du joint. Le changement d'un sac n'exige donc que l'enlèvement de son chapeau, sans démonter les autres, et même sans vider la bêche du filtre.

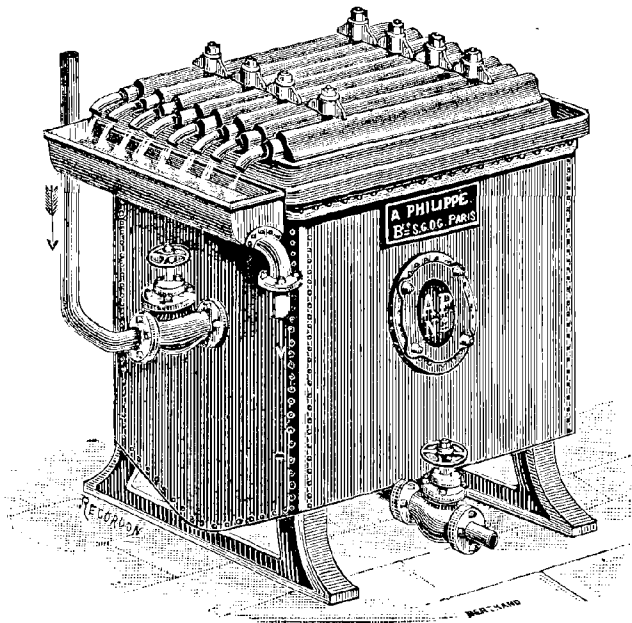


Fig. 88.

Le support intérieur des sacs est en tôle ondulée comme dans le Danek ou en toile Liebermann comme dans le Kazalowsky. Philippe, préfère encore à tout cela un tissu métallique à mailles ondulées, ayant 5 à 7 millimètres d'épaisseur selon la grosseur du fil employé. Les contacts de la toile sur ces mailles ondulées sont beaucoup moins multipliés que sur tout autre support. Ce tissu métallique est encadré avec une bordure d'acier embouti doublement qui arrondit les angles et facilite l'introduction de la poche et la préserve de tout accident.

Le tissu des poches, quoique décati préalablement, a un retrait assez

considérable. Dans tous les autres filtres similaires on est obligé à cause de cela de faire les poches beaucoup plus grandes que le support, sans quoi elles se déchireraient. Dans le filtre Philippe cette précaution est inutile, le support en toile métallique rentrant d'autant plus dans le chapeau que le retrait de la toile est plus considérable.

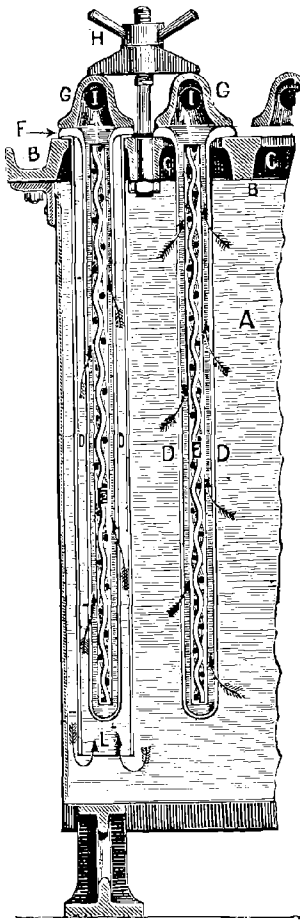


Fig. 89.

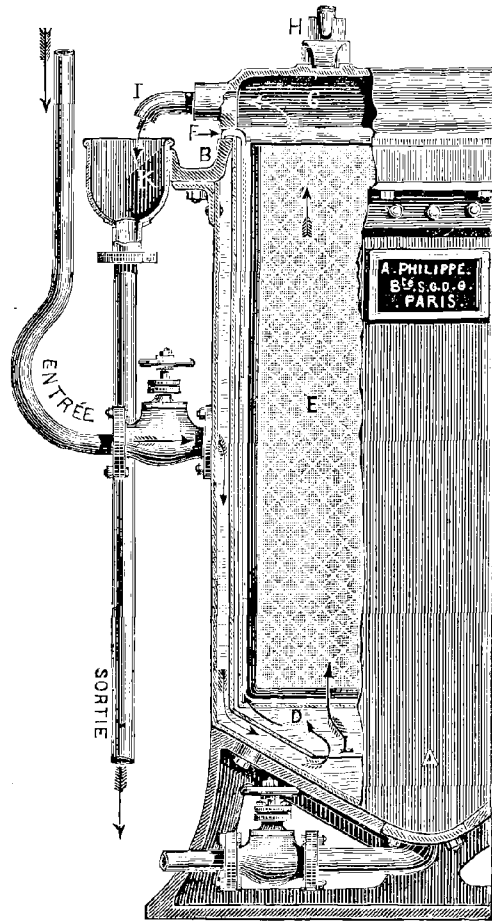


Fig. 90.

D'ailleurs tous les détails des filtres Philippe sont très bien étudiés, et l'un des points auquel l'inventeur s'attache tout particulièrement c'est le choix des toiles appropriées au travail que l'on veut leur faire faire.

Le défaut général des filtres-mécaniques, c'est la jonction des sacs avec leur support qui ne peut jamais être absolument étanche. Dans le

filtre Philippe cet inconvénient capital est absolument supprimé. Il est impossible au jus trouble de passer ailleurs qu'à travers la toile, et, s'il y a une fuite au joint, elle est extérieure et parfaitement visible, et d'ailleurs ne souillant en rien le liquide filtré. C'est là son grand avantage, et tellement appréciable qu'il suffit à lui seul pour faire adopter ce système à l'exclusion des autres.

Nous décrirons à l'article *Évaporation* les filtres-Philippe construits spécialement pour la filtration du sirop entre caisses.

Philippe évalue à 1 mètre ou 1^m,50 maximum la pression nécessaire à donner à ses filtres pour obtenir une bonne filtration de jus, et le double pour les filtres à sirop. Dans ces conditions 1 mètre carré débite, en bonne filtration industrielle, 75 hectolitres de jus et 35 de sirop.

Il est évident qu'en augmentant la hauteur de charge on pourrait obtenir un débit beaucoup plus grand. Mais en augmentant le débit on diminue les chances de bonne filtration. En filtrant lentement, de manière à ce que le jus en sortant n'ait ni vitesse ni pression, on n'a pas besoin de filtrer deux fois les liquides, et l'on économise ainsi du temps et du matériel, tout en ayant des liquides ayant moins trainé et par conséquent plus sains.

D'ailleurs ces règles sont absolument générales pour tous les autres filtres, et lorsqu'on annonce qu'un filtre a tel débit, faut-il encore savoir sous quelle pression avec garantie de parfaite limpidité.

Filtre Émile de Buck. — Un filtre fort curieux est celui de E. de Buck dont Aulard nous a fait connaître le fonctionnement et l'effet utile en 1886. C'est une caisse en fonte séparée en deux compartiments par une table horizontale percée de gros trous. Dans chacun de ces trous s'emmanche un ajutage métallique légèrement conique, la partie large en bas. Dans chacun de ces ajutages on enfonce à pression une bourre en feutre de 3 centimètres d'épaisseur. L'appareil comporte 200 à 260 de ces ajutages.

Le jus que l'on veut filtrer arrive dans le compartiment du bas, avec une pression de 3^m,50 à 5 mètres, traverse les bourres de feutre et sort au-dessus de la table de filtration d'où un tuyau l'évacue.

Le compartiment du bas où arrive le jus contient une chambre chauffée par de la vapeur, pour entretenir le liquide en bonne température. Enfin un robinet placé en bas permet d'évacuer les dépôts.

Le liquide à filtrer doit donc traverser une surface filtrante ayant 3 centimètres d'épaisseur, et non une toile dont la largeur des mailles constitue seule l'obstacle à vaincre.

Nous donnerons plus loin (p. 464) les résultats remarquables constatés

par Aulard dans cet appareil, en faisant observer de suite que ces résultats doivent donner l'effet maximum de la filtration mécanique, une pareille matière filtrante étant bien faite pour arrêter toutes les matières en suspension qui peuvent exister dans un liquide.

L'appareil est sans doute plus encombrant qu'un filtre à toile, mais les résultats qu'il donne compensent les inconvénients de l'encombrement qu'il peut occasionner.

Filtres Bouvier. — Bouvier a beaucoup travaillé la question de la filtration sur matières autres que les toiles. Il a essayé de tout, et il s'est arrêté en dernier ressort au *crin végétal*, issu des feuilles du palmier-nain *chamaerops humilis*, qui est inattaquable par les acides et les alcalis des jus et ne fermente pas ni ne s'altère. Il est d'un nettoyage facile par le simple lavage, et se feutre facilement par compression dans les filtres. Il remplit donc toutes les conditions voulues comme matière filtrante, bien supérieur à toutes autres fibres qui apportent des éléments perturbateurs dans les liquides, comme le prouve leur facilité à la moisissure. C'est ce qui fait d'ailleurs que les filtres à cadres en bois sont proscrits par beaucoup de fabricants.

Le filtre Bouvier est un bac de peu de hauteur, 0^m,75, séparé par des chicaneaux verticales en quatre compartiments parallèles communiquant par leurs extrémités de manière à faire circuit de l'un à l'autre. La longueur du bac étant de 1^m,60, un liquide qui parcourt successivement les quatre compartiments ferait un chemin de 6 mètres environ. Les angles à l'extrémité de chaque parcours sont arrondis pour que les liquides n'y séjournent pas.

Le tout est bourré de crin végétal; mais on ménage à l'arrivée et à la sortie un petit espace vide, par une cloison en toile métallique, pour pouvoir surveiller le niveau du liquide qui entre par un bout et sort par l'autre. En marche on ferme le bac par un couvercle. Le fonctionnement de l'appareil est celui-ci. Le liquide à filtrer entrant par une extrémité, sort par l'autre en traversant la matière filtrante. Seulement la section que présente le bac étant très grande par rapport à celle du tuyau d'arrivée et de sortie du liquide, celui-ci circule lentement et dans le fond seulement du bac, abandonnant aux fibres ses impuretés.

Mais bientôt les fibres s'encrassent et font obstacle au passage du jus. Alors celui-ci passe par-dessus rencontrant des fibres fraîches. Il se produit donc une élévation successive du niveau du jus au fur et à mesure que le crin se charge d'impuretés, et cela jusqu'à ce que le filtre soit complètement sale, moment où le jus arrive tout en haut. On a donc des couches successives d'écumes superposées, et le jus se trouve

toujours en contact avec des couches d'écumes fraîches, et non pas avec les écumes déjà anciennes qui pourraient nuire à leur composition, et qui sont en dessous reléguées de manière à ce que leur action soit nulle. C'est là le point qu'a recherché l'inventeur pour des raisons que nous allons expliquer plus loin.

Le filtre Bouvier sous cette forme est un excellent débourbeur qui se recommande par la facilité de sa formation, et l'innocuité parfaite de sa matière filtrante.

§ 5. — Action des boues des filtres sur les liquides filtrés.

Quand on démonte un filtre qui a travaillé longtemps, chacun sait que la boue noire et gluante qui recouvre les toiles répand une odeur des plus désagréables, odeur qui s'aggrave aussitôt que ces boues sont restées quelques instants à l'air. C'est que la filtration arrête toutes les matières en suspension dans le jus, matières albuminoïdes entr'autres, et aussi tous les micro-organismes, ferments et autres, qui sont inévitablement dans ces liquides. Les boues offrent donc un milieu de culture parfait pour le développement et l'évolution de tous ces micro-organismes. C'est en définitive un foyer d'infection complet pour tout liquide sucré qui séjournerait à son contact. Tant qu'un filtre est en activité et *bien chaud* il n'y a aucun danger. Aussitôt qu'il s'arrête et se refroidit les fermentations peuvent commencer.

Il ne faut donc jamais laisser un filtre plein en non-activité. Dès l'instant qu'il ne sert plus, il faut immédiatement le vider et enlever les toiles. Et si l'on a un travail intermittent, ce qui est mauvais d'ailleurs pour la filtration, il faut empêcher le filtre de se refroidir. Mittelman a fait quelques expériences sur l'action nocive des boues de filtre sur les jus (1895).

Voici l'analyse d'un jus qui a été mélangé avec des boues de filtre à sirop et abandonné pendant 3 heures dans un endroit chaud.

	Jus employé	Jus mélangé de boue et filtré
Densité	4,40	4,90
Sucre 0/0	10,04	8,82
Cendres	0,36	0,41
Coefficient salin	27,80	21,51
Matière organique	1,26	3,75
Pureté	86,50	68,37

Mittelman, en suivant de près un filtre, a remarqué que le jus qui sort à la fin, lorsque la toile encrassée ne laisse plus passer que difficilement le liquide, n'a plus la même composition qu'au début, que sa

pureté diminue, et même dans des proportions inquiétantes. Ainsi un filtre qui ne débitait plus au bout de 9 heures de marche, donnait un jus dont la pureté était de 85, quand au début elle était de 88.

Donc quand un filtre ralentit et ne débite plus, il ne faut pas essayer de le conserver plus longtemps, il faut l'arrêter, le vider et changer bien vite les toiles.

C'est dans cet ordre d'idées que Bouvier a construit son filtre, de manière à ce que le jus ne soit jamais qu'en contact avec des boues fraîches, et jamais avec des boues anciennes.

Les inventeurs qui prétendent avoir des filtres qui durent 24 heures et dans lesquels les liquides sucrés sont sans cesse en présence des dépôts anciens qui s'accumulent de plus en plus sont donc dans le faux.

§ 6. — Applications de la filtration mécanique.

Il y a intérêt à appliquer la filtration mécanique dans tous les cas où l'on a des jus louches.

Le louche des liquides provient de matières en suspension très diverses, matières minérales et organiques, et la nature de ces matières varie avec la nature du liquide que l'on considère.

En général toute matière en suspension est une cause de trouble ultérieur dans le travail. On a donc intérêt à les éliminer immédiatement.

En effet, si l'on considère les jus verts, par exemple. Ils tiennent toujours en suspension des matières extractives sur lesquelles nous nous sommes assez étendu pour en connaître l'action nocive évidente.

Les jus de première carbonatation sont louches par une quantité de précipité calco-organo-carbonique non retenus par les filtres-presses, et qu'il est indispensable d'éliminer avant la seconde carbonatation, comme nous l'avons montré antérieurement.

Les jus de seconde carbonatation, et de troisième s'il y en a, tiennent en suspension du carbonate de chaux, des sels organiques de chaux, voire même de la silice, des matières grasses, si l'on emploie la graisse pour émousser. Tout cela va à l'appareil d'évaporation, l'encrasse et diminue son effet utile dans des proportions d'autant plus grandes que le jus est plus sale.

Les sirops à 18° Baumé dans l'appareil d'évaporation sont louches. C'est à peu près à cette densité que les sels organiques solubles dans le jus deviennent insolubles dans un liquide sucré concentré. On a grand intérêt à les filtrer entre l'avant-dernière et la dernière caisse de l'appareil, sinon ces matières se collent sur les tubes du dernier corps, et l'encrassent au point de forcer l'usinier d'arrêter pour nettoyage de ce

corps. Une filtration à 18° Baumé permet parfois de marcher des mois sans trouver d'incrustation dans le dernier corps.

Le sirop à 25-30° Baumé sortant de l'appareil est louche, parce que la précipitation se continue après 18° Baumé, mais en moindre proportion. Si l'on ne filtre pas ce sirop, les matières en suspension rentrent dans la cuite et restent ensuite dans les turbines avec le sucre qu'elles souillent et rendent gris.

Enfin les égouts de turbinage que l'on rentre à la cuite, ou que l'on cuit directement, doivent être filtrés pour la même raison.

Si l'on emploie l'acide sulfureux, la filtration est bien plus nécessaire encore, car le sulfite de chaux se dépose à toutes les phases du travail et surtout de la concentration, et si du sulfite de chaux vient avec le sucre dans les turbines, ce sucre est de mauvaise conserve en sac, et finit même par sentir mauvais par dégagement d'acide sulfhydrique.

On voit par cet exposé rapide la nécessité absolue où l'on est de filtrer le plus souvent possible les jus et sirop en travail et de filtrer au point de rendre ces liquides absolument brillants. Un liquide mal filtré, qui paraît limpide à première vue, se distingue cependant très bien à l'œil d'un liquide bien filtré mis en comparaison avec lui, ce dernier ayant dans le verre une transparence spéciale que l'on appelle du *brillant*, ses gouttelettes pouvant rouler sur la surface sans s'y mélanger comme dans tout liquide pur, et son ménisque sur les parois du verre différant de forme et de dimension avec celui du liquide impur. Au microscope il n'y a pas à s'y tromper. Et par une bonne filtration on peut obtenir facilement cette pureté.

Plusieurs chimistes ont analysé les dépôts que l'on rencontre sur les toiles des filtres mécaniques. Nous allons examiner ces dépôts aux différentes phases du travail.

Jus verts. — En Russie (1892), la sucrerie de Salivonki a employé des filtres Kazalowsky pour filtrer les jus verts, et Skoryna a donné l'analyse ci-dessous de ses dépôts (matières sèches)

Cellulose	15
Matières albuminoïdes	25
— pectiques	33
— minérales	27
	100

A Koroviney, où la filtration s'opérait ainsi, la pureté des sirops était augmentée de 3,80 %. L'auteur ne dit pas si les jus étaient chauffés avant filtration.

En Hongrie les sucreries d'Acs et de Siegendorf, chauffaient leurs jus à 75° ou 80° C. Leurs quotients de pureté montaient du fait de la filtration de 81,52 à 84,35. Les sirops qui en provenaient avaient une pureté de 87,35.

En comparant le travail d'épuration totale des jus sans filtration et avec filtration, on a constaté une élimination d'azote de 31,74 avec chauffage contre 20,03 sans chauffage, et une élimination d'albumine de 54,63 avec chauffage contre 11,23 sans chauffage.

Ces derniers chiffres sont très remarquables et prouvent qu'une grande partie de l'albumine des jus se transforme pendant le travail et que l'on a tout intérêt à l'éliminer dès le début. D'ailleurs, comme conséquence immédiate, les directeurs de ces usines ont constaté que le travail allait plus rapidement, pouvait même être augmenté, d'autant que les tourteaux de filtre-pressé n'avaient plus rien de visqueux, toujours secs et granuleux.

Les dépôts sur les toiles étaient visqueux, gris foncés, et abandonnés à l'air dégageaient une odeur de triméthylamine. Leur analyse donnait :

Eau	82,60	
Sucre	9	
Azote de (l'albumine).	0,41	} 0,97
— (autre)	0,56	

3600 hectolitres de jus fournirent 273 kilogrammes de ces dépôts, correspondants à une élimination de 15^k,8 d'albumine et 0^k,7 d'autres matières azotées.

D'autres usines ont obtenu des résultats analogues sans donner des preuves aussi détaillées. Néanmoins en Russie une vingtaine de fabriques ont fonctionné sur les données de Skoryna. En Autriche-Hongrie de nombreuses usines ont filtré leurs jus verts avec des appareils très différents et s'en sont bien trouvés.

Les résultats donnés par cette filtration ont-ils donné de meilleurs rendements en sucre ? L'élimination des matières coagulables avant carbonatation donne-t-elle de meilleurs résultats que cette même élimination pendant et après carbonatation ?

La réponse à cette question importante paraît décidément affirmative, non seulement par les résultats que nous venons de signaler dans les sucreries hongroises, mais par d'autres dont ci-dessous les analyses.

Dessin a recueilli les analyses suivantes dans la sucrerie de Zleb (Bohême).

	SANS DÉALBUMINAGE				AVEC DÉALBUMINAGE				Différence des purotés
	Balling	Sucro	Non sucro	Pureté	Balling	Sucro	Non sucro	Pureté	
Jus verts . . .	9,68	8,25	1,43	85,23	9,63	8,43	1,20	87,53	2,31
1 ^{re} carbonata- tion	9,60	8,55	1,05	89,01	9,45	8,44	1,01	89,31	0,30
2 ^e carbonata- tion	8,95	8,06	0,89	90,05	9,06	8,19	0,87	90,40	0,35
3 ^e carbonata- tion	8,85	8,03	0,77	91,35	8,89	8,16	0,73	91,70	0,35
Jus filtré . . .	8,91	8,19	0,72	91,90	8,75	8,08	0,67	92,30	0,40
Sirop filtré . .	56,08	51,48	4,60	91,80	55,88	51,82	4,06	92,73	0,93
Masse cuite . .	95,71	87,94	7,77	91,88	95,57	88,50	7,07	92,60	0,72

L'examen de ce tableau offre quelques particularités remarquables.

La pureté des jus après désalbuminage est supérieure de 2,31 ‰. Puis cette différence tombe immédiatement après carbonatation à 0,30 et va grandissant jusqu'aux sirops à 0,93. Elle est un peu moindre dans la cuite, mais cela importe peu, ne sachant pas comment la cuite est conduite.

Nous avons ajouté la dernière colonne au tableau de Dessin pour que ces différences sautent aux yeux.

Nous voyons donc que l'élimination pendant la carbonatation est considérable. Seulement la suite des différences nous prouve que les matières qui ne peuvent être éliminées après chaulage, et que le chauffage et la filtration préalable enlèvent, sont justement celles qui sont les plus dangereuses, qui forment des sels de chaux et qui diminuent la pureté du sirop. La gradation ascendante de la pureté des liquides désalbuminés nous le prouve sans conteste.

Si nous reprenons ce que nous avons vu tout à l'heure à Korovincy, où les sirops avaient 3,80 de pureté en plus avec jus verts filtrés, et ce qu'en disent d'autres auteurs encore, il est évident pour nous que le désalbuminage des jus est une opération des plus avantageuses au point de vue du travail général de l'usine, aussi bien qu'à celui du rendement.

En France, Bouvier, directeur de la sucrerie de Montereau, et Mittelman son chimiste, se sont faits les champions du désalbuminage, et ont imaginé une série de dispositifs pour rendre ce travail plus pratique.

Dès 1892 Bouvier construisit des filtres à gravier, coke noir en grains, de petite dimension pour retenir les matières en suspension, et remarqua des augmentations de pureté allant à 3,60 et même 4,40 avec le noir en grains qui filtre mieux que les autres corps.

L'année suivante nouvel appareil où la surface filtrante est une toile métallique qui retient un coagulum dont l'analyse donne :

Sucre	38,60
Cendres	5,22
Matière organique	56,18
	100,00

Cette matière représente une élimination de 0,29 % en substances totales et 0,038 % de matières organiques. L'appareil était précédé d'un épulpeur des jus verts avant chauffage, ce qui explique la faible quantité que représentent ces chiffres comparés à d'autres expérimentateurs qui ne prennent pas cette précaution.

La différence entre ce travail et le travail ordinaire est donnée par le tableau suivant :

	SANS SÉPARATION			AVEC SÉPARATION		
	Coefficient salin	Matières organiques	Pureté	Coefficient salin	Matières organiques	Pureté
Jus de diffusion	22,00	2,07	81,30	23,34	1,85	82,08
Jus de saturation	24,94	1,33	86,10	27,48	1,05	88,40
Sirop (ramené à la densité du jus).	25,40	1,25	86,88	27,53	1,01	88,37
Masse cuite	25,42	7,40	86,80	27,40	6,94	89,51

On voit que les produits avec séparation sont toujours plus purs que ceux sans séparation, comme nous le faisons voir précédemment. De plus les masses cuites des jus ainsi traités rendaient 2 à 3 1/2 kilogrammes de sucre blanc par hectolitre en plus que les masses des jus non traités.

Enfin l'auteur fait remarquer que les jus désalbuminés demandent moins de chaux que les autres à la carbonatation soit 2 à 2 1/2 % au lieu de 3 à 4 % employés ordinairement.

On voit donc que tous les expérimentateurs sont d'accord sur les résultats à obtenir de cette filtration, résultats qui se traduisent par un travail plus facile des jus après désalbumination, diminution de la quantité de chaux à employer, augmentation de rendement en sucre.

Le *mode opératoire* consiste uniquement à chauffer les jus à 85 ou 90° et à les filtrer rapidement, pour qu'ils ne restent pas trop longtemps au contact des boues qui sont un foyer d'infection dont on doit se méfier. Il faut donc opérer chaud.

Quant aux filtres à employer, le nombre considérable d'appareils proposés prouve que l'on n'a pas encore le bon, ou plutôt le parfait.

Ceux qui emploient les filtres genre Breifeld-Danek pour cet usage, les garnissent de toiles plucheuses, les impuretés volumineuses et gluantes s'arrêtant sur les fibres externes et n'encombrant pas trop vite le tissu proprement dit.

Le filtre Bouvier à crin végétal donne des résultats déjà très satisfaisants.

Les jus filtrés vont ensuite à la carbonatation qui se fait à cette température très facilement, d'autant plus qu'elle demande une quantité moindre de chaux.

Jus de première carbonatation. — Quand nous avons parlé de la carbonatation nous avons insisté sur ce fait que la séparation des boues de première carbonatation devait être aussi parfaite que possible, car toute parcelle de ces boues rentrant à la seconde carbonatation constitue autant d'impuretés que l'on régénère dans le jus.

Les filtres mécaniques sont donc, après les filtres-presses de première carbonatation, de la plus haute importance.

En effet, ce sont eux qui de tous se salissent le plus vite, et, les dépôts y sont tellement considérables, que l'on s'y trouve en présence presque exclusive d'écumes ordinaires de filtre-presse, dont la quantité masque les autres impuretés arrêtées en même temps que ces écumes.

Cependant on peut y constater la présence de la silice des pierres à chaux, des matières grasses quand on emploie la graisse pour abattre la mousse, ces matières grasses étant saponifiées avec la chaux, la magnésie et même la potasse des jus. Enfin on y trouve aussi des matières visqueuses, gommées ou produits métapectiques insolubles dans les jus au sein desquels ils restent comme une gelée sur laquelle la chaux est sans effet ; nous avons expliqué ce phénomène dans la partie théorique de ce livre.

C'est cet ensemble qui forme la boue visqueuse des filtres mécaniques de première carbonatation, et qui fait que la filtration est parfois si difficile que bien des fabricants y ont renoncé.

Le remède à cette difficulté est de soigner davantage la carbonatation, et aussi de filtrer les jus verts sinon complètement, au moins un peu plus soigneusement qu'on ne le fait dans quelques fabriques. Malgré ces difficultés beaucoup de bonnes usines filtrent leurs jus carbonatés et s'en trouvent bien. Nous ne possédons pas d'analyse de ces dépôts qui demanderaient cependant une étude sérieuse, car d'après leur nature le fabricant trouverait de bons indices sur la manière dont est conduit le travail antérieur.

Jus de deuxième carbonatation. — La filtration des jus de deuxième, sortant des filtres-presses, laisse encore sur les toiles des quantités de matières autres que les écumes qui sont entraînées. Ces dépôts sont encore visqueux et noirâtres. D'ailleurs si bien filtré que soit un jus, si on le filtre encore il laisse toujours des dépôts visqueux sur la toile. Aussi fait-on parfois cette filtration sur deux filtres consécutifs ou dans des appareils dits à double-effet, ce qui en revient au même.

Voici d'après Donath l'analyse d'un de ces dépôts desséché.

Sucre	6,10
Matière soluble	1,02
Graisse	2,45
Acides gras combinés	0,90
Acide carbonique	36,41
Cendres (moins CO ²)	52,34
	<hr/>
	99,22

Les cendres contiennent en majorité de la chaux (83,05 %) avec un peu d'oxyde de fer et d'alumine, 2,03 % de magnésie et 1,06 % de potasse, ce sont les éléments ordinaires des écumes de défécation.

Dans une autre analyse faite par Beudet sur le dépôt humide d'un filtre, on retrouve, outre les éléments minéraux des écumes ordinaires, 14,07 % de matières organiques pour 4,56 de sucre.

On voit combien sont différentes ces deux analyses, la première très sucrée pour peu de matières organiques, la seconde contenant au contraire des quantités organiques considérables par rapport au sucre. La seconde analyse est plus conforme à la vérité des faits constatés ordinairement en sucrerie.

La filtration des jus de *troisième carbonatation*, quand on la fait, contient le carbonate de chaux de cette opération, car dans ce cas on ne passe pas aux filtres-presses, et de plus, encore et toujours, des matières visqueuses brunes.

Nous ne pouvons nous étendre davantage sur cette filtration dont l'importance est capitale cependant pour le bon fonctionnement des appareils d'évaporation dans les tubes desquels toutes ces cendres et ces matières organiques arrêtées par les toiles viendraient se fixer à l'état d'incrustation. Une bonne filtration permet à un appareil de marcher une ou deux semaines de plus sans nettoyage, ce qui est une grosse économie pour le fabricant.

Filtration des sirops. — Les sirops contiennent toutes les précipitations minérales et organiques qui se sont produites pendant la concentration,

et qui ne se sont pas attachées sur les caisses de l'appareil à l'état d'incrustation. Nous avons expliqué qu'il était indispensable de les séparer pour qu'elles n'aillent pas souiller les sucres dans la turbine. Aussi est-ce sur les sirops que la filtration mécanique a débuté.

Voici quelques analyses des boues gluantes et noires qui restent sur les toiles.

D'après E. Donath, (dépôt desséché).

Sucre	41,68
Graisses	9,16
Acides gras	4,67
Matières organiques	13,19
Acide carbonique	8,58
Cendres (moins CO ² ,	19,68
	<hr/>
	99,96

Les cendres contenaient :

Silice	47,12
Acide carbonique	2,10
Oxyde de cuivre	2,73
Alumine	18,52
Chaux	1,59
Oxyde de fer	1,12
Acide sulfurique	1,64
— phosphorique	0,39
Potasse	18,74
Soude	3,21
Chlore, magnésic	traces.
	<hr/>
	97,16

on voit la quantité de silice retenue sur les filtres qui forme presque la moitié des cendres. L'alumine est en grande quantité également. Ces matières sont donc solubles dans le jus et ne se précipitent que par la concentration. On les trouve en effet toujours dans les incrustations des caisses. Ce qu'il y a de curieux dans cette analyse c'est la quantité de potasse recueillie sur les toiles. Il y a donc épuration des sels potassiques, ce qui est bon à enregistrer.

Pellet a donné l'analyse suivante ;

Eau	33,30
Sucre	42
Matières minérales	14,30
— grasses	3,50
— organiques	6,90
	<hr/>
	100,00

Si on réduit ces nombres en matières sèches, on trouve :

Sucre	63
Cendres	21,45
Graisses	5,20
Matières organiques	10,35
	<hr/>
	100,00

on voit que ce dépôt est beaucoup plus sucré que le précédent, mais que si on les réduisait tous deux à la même teneur en sucre ils seraient parfaitement comparables, à la quantité de graisse près. Celle-ci provenant de la plus ou moins grande habileté de l'évaporeur, n'entre pas en ligne du compte, quoiqu'elle puisse faire avec les alcalis des savons qui restent plus ou moins sur les toiles.

K. Andrlík donne l'analyse suivante :

Eau	20,43
Sucre	43,44
Non sucre soluble	22,70
— insoluble (organique)	3,22
Sels (insolubles)	10,21
	<hr/>
	100,00

Les sels insolubles contenaient 33,80 % de silice, 19,2 % de chaux, 19,39 d'acide oxalique, 10,23 de matières grasses.

La forme sous laquelle est donnée cette analyse ne permet guère de la comparer aux autres, car le non sucre soluble contient des sels solubles, et les sels insolubles contiennent des matières organiques. Seulement elle a l'avantage de nous montrer les graisses dans les sels insolubles et de nous faire connaître la présence de l'acide oxalique dans les sirops, présence étudiée par Weissberg et Pellet et dont nous nous occuperons à propos des incrustations des appareils d'évaporation.

Filtration à différentes températures. — Le docteur Breudel a fait des expériences sur la vitesse de filtration des sirops à différentes températures. Voici le poids de sirop à 60 % de sucre qui a traversé son filtre dans ces conditions.

Température	2°, 3 C.	poids	3,1
—	8	—	9,7
—	21	—	22
—	30	—	37,3
—	40	—	66,8
—	47	—	91,2
—	60	—	146,8

on voit que la vitesse de filtration croît considérablement avec la température. Si l'on fait la courbe donnée par ces chiffres, on remarque qu'elle est parabolique. La vitesse de filtration croît donc sensiblement, surtout à partir de 30°, comme le carré des températures.

On a donc un grand intérêt à filtrer aussi chaud que possible pour utiliser au mieux les surfaces filtrantes dont on dispose.

Comparaison de jus et sirops passés sur divers filtres. — Aulard, en 1886, a fait des essais comparatifs entre les poches Puvrez, les filtres Loze et Hélaers et le filtre de Buck, dont nous avons parlé précédemment, ce dernier ayant une surface filtrante constituée par un feutre de 3 centimètres d'épaisseur.

Voici le tableau qu'il a donné :

ÉLÉMENTS DOSÉS et DÉTERMINÉS	SUCRERIE DE MARCHE-LEZ-ECAUSSINES Essais faits les 25 et 26 novembre 1885								SUCRERIE DE GENAPPE Essais du 30 novembre 1885			
	Jus pris dans la noëtre après passage sur une poche	Jus correspondant sur deux poches Puyrez	Jus correspondant à la 1 ^{re} analyse après passage filtre de De Buck	Sirop de la filtration	Sirop correspondant filtre sur les poches Puyrez	Sirop correspondant filtre sur feutre. filtre de Buck	Cuite 1 ^{er} jet, sirop, filtre les poches Puyrez	Cuite 1 ^{er} jet, sirop, filtre sur le filtre de De Buck	Jus de 2 ^e carbonatation sortant du filtre-presse	Jus correspondant filtré sur le filtre Loze et Héloirs	Sirop avant filtration	Sirop après passage sur le filtre Loze et Héloirs
Sucre	6 730	6 790	7 190	33 700	37 400	38 100	82.40	84 00	7.49	36.70	35.60	
Sols	0 360	0.384	0.353	1.845	1.800	1.805	4.14	4.00	0.46	2.10	2.00	
Matières organiques	0 770	0.716	0.620	3.505	3.350	2.945	7.26	6.20	0.88	4.05	3.80	
Eau	95.098	95.110	94.710	57.950	57.450	57.150	6.20	5.80	94.50	57.15	58.60	
Total	102.958	102.950	103.070	100.000	100.000	100.000	100.00	100 00	103.33	100.00	100.00	
Quotient de pureté	85.623	86.606	88.112	87.277	87.896	88 914	87.846	89.172	81.824	85.050	85.990	
Coefficient salin	18.964	20.329	20.547	19.891	20.778	21 108	19.903	21 000	16.282	17.476	17.800	
Coefficient organique	8.740	9.483	11.586	10.470	11.164	12.937	11.349	13.543	8.511	9.061	9.383	
Sols p. 100 de sucre	5.348	4.919	4.887	5.027	4.813	4.737	5.024	4.762	6.141	5.722	5.618	
Mat. org. p. 400 de sucre	11.441	10.545	8.623	9.550	8.957	7 729	8.810	7.380	11.749	11.085	10.674	
Alcalinité	0.028	0.028	0.026	0.550	0.550	0.525	0.530	0.518	0.017	0.450	0.490	
Chaux p. 100	0.021	0.020	0.018	0.206	0.188	0.169	0.181	0.172	0.012			

On voit qu'à Marche-lez-Ecaussines la pureté du jus augmente avec le nombre des filtrations. 85,6 après passage sur une poche Puvrez, elle devient 86,6 après passage sur deux poches et 68 en sortant du filtre de Buck.

Pour le sirop, la pureté monte de 87,2 initiale à 87,9 après poches Puvrez et 88,9 après filtre de Buck.

Les puretés des cuites suivent celles des sirops correspondants.

Les coefficients salins ont le même mouvement ascendant, preuve que bien des sels organiques sont à l'état gélatineux dans les jus et sirops et peuvent être retenus avec des filtres énergiques.

Les coefficients organiques, naturellement, sont de plus en plus grands, mais l'alcalinité reste constante.

A Genappe, la comparaison entre une poche Puvrez et un filtre Loze et Hélaers à double filtration donne les mêmes résultats.

Il ressort donc, avec la plus grande évidence de ces expériences, qu'une filtration *intense* produit une épuration absolument remarquable des jus et sirops, et que les fabricants doivent veiller avec la plus grande attention à ce travail. Il est évident aussi que deux filtrations au lieu d'une apporteront une amélioration réelle au travail, amélioration capable de payer largement les frais de cette double filtration.

Jus et sirops sulfités. — Les dépôts que l'on recueille sur les toiles des filtres mécaniques sont entièrement différents de ceux que nous avons cités précédemment lorsque l'on emploie l'acide sulfureux dans le travail. L'acide sulfureux se combine en effet à la chaux libre des jus ou à la chaux des sels de chaux organiques pour faire du sulfite de chaux très peu soluble. Ce sulfite de chaux restera donc sur les toiles.

De plus, l'acide sulfureux met en liberté les acides organiques combinés à la chaux, et même de la silice rendue soluble par l'alcalinité des jus et qui se précipite lorsque cette alcalinité potassique est saturée par SO^2 .

Les toiles se couvriront donc de sulfite de chaux, d'acides organiques insolubles, de silice gélatineuse et de toutes les impuretés des liquides traités.

Le sulfite de chaux a la propriété de s'incruster profondément dans les toiles, de boucher rapidement leurs pores, et de les rendre dures et cassantes. On devra donc les laver à l'acide après chaque opération qui ne dure malheureusement pas longtemps. Si la silice se mêle au sulfite, non seulement les toiles se bouchent, mais encore les conduites; les robinets s'emplissent de sédiments tellement durs que l'on est parfois obligé de les enlever au burin.

Il faut donc faire attention à la manière dont on conduit la sulfitation quand on a des chaux siliceuses, et le mieux, quand on le peut, est de s'approvisionner dans ce cas de chaux meilleure, la silice étant toujours l'ennemie née du fabricant.

D'après ce qui précède on conçoit que les dépôts sur les toiles soient essentiellement différents avec les fabriques et les années.

Si les jus et sirops contiennent beaucoup ou peu de sels de chaux, beaucoup ou peu de silice, beaucoup ou peu de chaux libre, les dépôts seront abondants ou faibles, et le sulfite et la silice pourront y varier dans de grandes proportions. Tels sont les dépôts de filtre à sirop dont ci-dessous les analyses avec les noms de leurs auteurs.

P.100 DE MATIÈRE SÈCHE	WEISS- BERG		GRAVIER		PELLET	
Sulfite de chaux	59,6	22,4	26,4	19,8	13,5	
Sulfate de chaux	13,0	0,6	0,8	5,8	6,5	
Polarisation	20,0	55,3	48,0	48,0	59,3	
Silice et insoluble	7,4	5,6	4,6	5,5	2,8	
Matières organiques	"	9,9	20,0	20,9	17,9	
Divers	"	6,2				
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

Inutile, après ce que nous venons de dire, de rien ajouter sur la variabilité de la composition de ces dépôts.

Voici, pour finir, la composition d'après Pellet d'un dépôt de jus sulfité, desséché.

Eau	1,53
Matières organiques	8,82
Sulfate de chaux	1,12
Sulfite de chaux	73,63
Chaux combinée	0,90
Matières minérales diverses	4,60
Sucre	9,40
	100,00

Dans cette sucrerie les jus contenaient beaucoup de chaux.

Remarquons en terminant la quantité relativement faible d'acide sulfurique dans tous ces dépôts par rapport à l'acide sulfureux resté sur les toiles à l'état de sulfite, ce qui prouve que la crainte de la transformation de l'acide sulfureux en acide sulfurique dans les jus est vaine. Sauf dans l'analyse de Weissberg qui s'écarte de toutes les autres considérablement, il n'y a pas lieu de s'effrayer du sulfate de chaux que l'on y rencontre et qui existe toujours même quand on ne se sert pas d'acide sulfureux.

Lavage des poches. — Les poches qui ont servi aux jus carbonatés, voire même aux sirops, sont complètement incrustées de sels de chaux. Elles sont dures et cassantes quand on les retire des filtres.

Le lavage à l'eau est inefficace pour les désincruster. On doit les passer à l'acide. A cet effet, on emploie de l'eau acidulée à 7 ou 8 litres d'acide pour 100 litres d'eau. On peut, dans ce bain, laver 150 à 200 sacs, suivant leur état d'incrustation. Ensuite, on les passe à l'eau, et enfin, ce qui est indispensable pour leur conservation, dans une eau contenant du carbonate de soude pour leur enlever toute acidité.

Les brosses sont sans effet pour ces différents lavages. On doit les battre ou les passer à la machine lave-sac, afin de bien nettoyer les pores du tissu.

Quand on regarde une toile lavée par transparence à une bonne lumière, elle doit être translucide dans toutes ses parties. Les endroits qui semblent opaques sont mal lavés, et ne donneront aucun effet utile à la filtration, car les pores y sont totalement bouchés. On doit donc veiller à ce que le lavage soit bien fait, sinon on s'expose à des mécomptes.

Les toiles qui ont servi aux filtres après sulfitation sont encore plus incrustées que les autres, et plus difficiles à laver, car elles contiennent, outre le sulfite de chaux, très souvent de la silice.

Il faut les traiter comme les autres, mais les moyens mécaniques, battoirs ou lave-sacs, doivent être plus énergiques et plus prolongés encore.

closes. Sur trois arêtes équidistantes du cône, sont placés une série de trous D, ou regards, évasés de l'extérieur à l'intérieur, et fermés par des tampons de fer garnis de glaise. Le gueulard du four E est exactement clos, et les gaz s'échappent au moyen d'un petit tunnel qui fait le tour du four un peu au-dessous du gueulard et communique avec une pompe G par l'intermédiaire d'un tuyau H. On remplace parfois cette disposition par la suivante. Le gueulard est surmonté d'une pièce en fonte F évasée, munie d'un couvercle à fermeture hermétique, sur le côté de laquelle se prend le tuyau à gaz; à l'intérieur, cette pièce de fonte présente la forme d'une trémie pour le chargement du calcaire et du charbon, mais dont la partie la plus basse se trouve au-dessous du niveau de la prise de gaz qu'elle protège, de telle sorte que pendant le chargement les parcelles de charbon et de calcaire ne soient pas attirées par l'aspiration de la pompe dans le tuyau.

On emploie avec avantage dans les fours d'une certaine importance au lieu de ce mode de fermeture celui des hauts fourneaux, c'est-à-dire

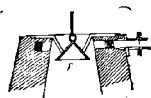


Fig. 92

par un cône *f*, figure 92, qui vient s'appliquer intérieurement au four sur une portion de cône renversée, en sorte que la fermeture est hermétique. De plus, le cône qui sert de fermeture, en s'ouvrant, descend dans le four et y reste suspendu, de sorte que le calcaire et le charbon sont très bien distribués en tombant sur

sa surface. Enfin, comme ce cône est toujours à une température relativement élevée, en plaçant dessus, aussitôt après une charge, la charge complète que l'on fera tomber plus tard dans le four, le calcaire et le charbon s'échauffent d'avance, perdent une grande partie de leur humidité, ce qui est autant de gagné pour le travail intérieur; en outre, par cette disposition, le chargement est presque instantané et il y a peu ou point de rentrée d'air.

Cependant cette fermeture a un inconvénient. Comme le cône est parfois porté au rouge, sous la charge pesante du calcaire et du coke la tige d'attache peut quelquefois se rompre. Cet accident, pour n'être pas fréquent, est arrivé cependant quelquefois, et a nécessité l'arrêt du four pour retirer le cône tombé au milieu du calcaire.

Aussi a-t-on substitué parfois au cône intérieur, un bouchon extérieur en forme d'olive qui s'applique exactement dans le fond de la trémie. Grâce à cette forme et au contrepoids qui équilibre le système, ce bouchon se soulève sans trop d'efforts, même quand il est entièrement couvert de calcaire, ses formes arrondies permettant de vaincre facilement les résistances des charges accumulées dans la trémie.

Le revêtement intérieur du four à chaux est en brique réfractaire;

l'épaisseur de la construction est de 0^m,75 en haut et 0^m,90 au-dessus des foyers, pour éviter autant que possible les refroidissements; enfin le tout est cerclé de fer. Lorsque l'on allume le four, au fur et à mesure qu'il s'échauffe il faut resserrer les cercles de fer pour qu'ils ne descendent pas, de même qu'au refroidissement il faut les desserrer lentement pour qu'ils ne cassent pas. Enfin, pour éviter l'action du vent sur les foyers et le four lui-même, on fera bien d'enceindre le tout, ou au moins la partie basse, d'une construction qui peut être légère sans inconvénient.

La pierre à chaux, concassée en morceaux de 1 décimètre cube environ, est introduite par le gueulard mêlée à 1/5 environ de son poids de coke aussi pur que possible. A cet effet, des paniers ou bennes sont chargés de coke et de charbon et vidés en nombre convenu dans le four. Le chargement et le déchargement doivent se faire toutes les deux heures, toutes les heures même, s'il est possible, et la chaux est alors bien cuite et la composition du gaz constante, car les opérations seront tellement rapides que la marche du four n'en sera pas modifiée. Les portes des foyers et celles de déchargement doivent être faciles à ouvrir et à fermer complètement pour faire varier à volonté l'accès de l'air; elles doivent donc être bien exécutées, avec châssis en fonte et dressés.

THÉORIE DU FOUR A CHAUX

On compte trois jours pour la calcination complète de la pierre à chaux. Le four doit donc avoir une contenance triple de la quantité de chaux qu'il doit fournir.

Le four à chaux dans les dimensions ci-dessus fournit par 24 heures :

4714	kilogrammes d'acide carbonique provenant du calcaire,
7286	. . . . . de la calcination du charbon.
<u>12000</u>	kilogrammes environ.

Il semble que cette quantité d'acide carbonique soit exagérée pour les besoins de l'usine. Il n'en est rien, car la chaux du jus n'absorbe pendant le passage du gaz que 43 % de l'acide carbonique fourni, le reste est perdu. Or, 43 % de la quantité ci-dessus (12.000 kil.) sont environ 5.000 kilogrammes, quantité presque égale à celle nécessitée pour la carbonatation de la chaux qui est 4.714 kilogrammes. On ne forme donc ainsi que la quantité du gaz strictement nécessaire aux opérations.

100 kilogrammes de coke calcinent 1.100 kilogrammes de calcaire, qui rendent 620 kilogrammes de chaux et du gaz contenant 23 % d'acide

carbonique. On met dans le four avec les 10.720 kilogrammes de calcaire, 500 kilogrammes de coke, et l'on emploie 1.500 kilogrammes de coke pour combustible par 24 heures.

Dans les fours à chaux ordinaires, alimentés au charbon de bois, on emploie 125 à 175 hectolitres de charbon de frêne (de Tournay) pour 1 mètre cube de calcaire en gros morceaux, ou bien 1,50 à 2,25 hectolitres de charbon de terre ordinaire pour 1 mètre cube de calcaire en petits morceaux, ou bien encore 802 kilogrammes de bois en fagots pour 1 mètre cube de pierre.

Pour la fabrication du sucre, le charbon de bois et le coke exempt de sulfure sont seuls utilisables, les autres combustibles dégagent ou trop de vapeur d'eau, ou trop de gaz sulfureux, lequel engendre du sulfate de chaux nuisible à la fabrication. Le prix du charbon de bois trop élevé éliminant immédiatement ce combustible, il ne reste que le coke.

La richesse du gaz carbonique dépend de beaucoup de conditions.

Ainsi, si la production de 1.000 kilogrammes de chaux proprement dite nécessite la production de 1.300 kilogrammes de chaux brute, soit l'emploi de 2.200 kilogrammes de craie sèche à calciner, dégagant par conséquent 875 kilogrammes d'acide carbonique, si l'on emploie 15 kilogrammes de coke par 100 kilogrammes de craie, ils dégageront du four, air et gaz carbonique compris : 2.675 mètres cubes, qui ajoutés aux 875 kilogrammes précédents ou $\frac{440}{3.115}$ — — forment un total de dont la richesse est 31,3 pour % d'acide carbonique.

Moins on emploiera de coke plus le gaz sera pur.

La décomposition de 1 kilogramme de calcaire demande 370 à 400 calories; le coke fournit 8.000 calories; il faut donc au minimum 5 kilogrammes de coke pour décomposer 100 kilogrammes de calcaire. Si l'on n'employait que cette quantité de coke on n'aurait que 1.440 mètres cubes de gaz de richesse 44 %. Telle est donc la richesse maxima théorique du gaz des fours à chaux. L'humidité de la craie est la cause la plus grande de l'emploi excessif du coke, car il faut la faire partir avant de décomposer la chaux, soit une perte de calorique de près de moitié de celle nécessaire à la calcination, surtout si le four n'est pas très vaste, pour que la craie se dessèche avant la calcination. Néanmoins nous verrons plus loin qu'un peu d'humidité dans la craie n'est pas un mal et qu'elle aide même au départ l'acide de carbonique. Cependant, il faut donner à la charge totale du four peu de hauteur au-dessus de la ligne de feu, pour éviter la transformation de l'acide carbonique en oxyde de carbone, en passant sur le charbon en excès. D'après la quantité d'oxyde de carbone contenue dans le gaz, on devra diriger le four de manière à maintenir la zone de combustion dans

de justes limites, et pour cela donner à la pompe une vitesse que déterminera le chauffournier ; il devra aussi ménager à la partie inférieure du four une zone de refroidissement de la chaux produite, ce qui économisera du combustible, l'air s'échauffant à son contact avant d'arriver à la zone de combustion ; enfin le défournement en sera moins pénible.

Toutes ces conditions peuvent abaisser à 10 % la quantité de coke employée.

C'est donc la machine à gaz qui est le régulateur du four. Elle devra fournir à chaque instant, par un mouvement toujours régulier, exactement la quantité de tours nécessaires pour maintenir la zone de combustion à la même place, c'est-à-dire extraire ni plus ni moins que les 3,115 mètres cubes de gaz cités plus haut. Barbet réclame même un compteur de tours à la machine pour s'assurer que le mécanicien suit bien ses instructions ; car si la machine va trop vite, le feu monte aux charges, si elle va trop lentement, le four languit.

Quant au chargement, il devra être fait régulièrement, les charges bien distribuées dans le four, par couches égales ; il faut éviter aussi l'action du vent sur les foyers qui devront être fermés du côté où il souffle ou protégés par une construction ; enfin, il est de toute nécessité d'avoir de la craie sèche. A cet effet, on devra faire les tas de calcaire dans les cours de l'usine aussi bas que possible, avec galeries intérieures et cheminées d'appel pour laisser la circulation de l'air, la forcer même.

Ces conduits peuvent être faits au moyen de fascines, et l'on recouvrira la partie supérieure des tas, disposés en dos d'âne, de paillasons ou de paille toutes les fois que l'on craindra la pluie ; on laissera découvert par les temps secs.

Le mieux est encore, comme dans les usines bien outillées, d'entasser la pierre à chaux sous des hangars légers ouverts à tous les vents, sauf du côté où tombe et fouette généralement la pluie, côté qui sera fermé par un mur à claire-voie. Quand on dispose de la place nécessaire, on oriente ces hangars de telle sorte que ce soit une des extrémités des tas qui se présente à la pluie.

D'ailleurs ces précautions ne sont indispensables qu'avec les craies et les marnes hygrométriques. Dans les pays comme en Belgique, où le calcaire a la consistance du marbre, la pluie n'a aucun inconvénient sur les tas, et l'on peut donner à ceux-ci telle forme et telle disposition qui sied le mieux aux facilités de travail de l'usine.

En résumé nous voyons que le minimum de coke nécessaire à la fabrication de l'acide carbonique est de 5 kilogrammes pour 100 kilogrammes de calcaire. Que, plus on emploiera de coke, moins riche sera le gaz, et

qu'il y a avantage à conserver au-dessous de la ligne de feu une hauteur de chaux aussi grande que possible pour que cette chaux abandonne son calorique à l'air qui servira à la combustion intérieure du four.

Enfin que la hauteur des charges au-dessus de la ligne de feu doit être restreinte pour ne pas faire d'oxyde de carbone.

Ces vérités fondamentales que nous avons établies dans notre première édition, avant la naissance des fours modernes perfectionnés, ont été reproduites par tous les auteurs et utilisées par tous les inventeurs qui ont cherché et sont arrivés à réduire presque à la limite indiquée la quantité de coke employée.

Les fours Cail consomment 20 à 25 kilogrammes de coke pour 100 kilogrammes de calcaire. C'est beaucoup de trop. On est arrivé à réduire cette quantité à 10 ou 12 %, et les fours belges n'en emploient plus que 7 à 8 %. On voit quel chemin a été parcouru jusqu'à ce jour depuis le temps où s'établissait en France le procédé Périer-Possoz. On peut calculer aussi qu'elle économie de combustible on a réalisé de ce côté en donnant aux fours à chaux des proportions plus normales.

Nous allons examiner les principaux travaux qui ont été faits en cette matière depuis les nôtres.

Le docteur Herzfeld a fait connaître en 1897, les résultats de quelques recherches intéressantes qu'il a poursuivies sur la température intérieure des fours à chaux.

Il a reconnu qu'à 1.040° la pierre à chaux perd entièrement son acide carbonique. Remarquons que c'est la température indiquée déjà par Sainte-Claire-Deville pour la dissociation du carbonate sous une tension de 520 millimètres. Aussi le docteur Herzfeld a-t-il fait la remarque que cette température était insuffisante, parce que sous la pression régnant dans le four, une partie de l'acide carbonique formé se recombine à la chaux dont elle s'était séparée. D'après les expériences de Sainte-Claire-Deville, à la pression atmosphérique, la température de dissociation totale est plus élevée que 1.040°.

Le docteur Herzfeld a constaté, en effet, que la température véritable à laquelle doit être portée la chaux dans les fours est de 1.200 à 1.400°, sinon l'on constate beaucoup d'incuits.

Il est indispensable de ne pas dépasser cette température de 1.400°, car à 1.600° les silicates commencent à fondre et à attaquer la chaux, et forme du verre.

Déjà à 1.300° les chaux contenant de l'argile et du fer deviennent hydrauliques. Aussi doit-on éviter la présence du fer dans la chaux. Celle qui ne contient que l'argile comme impureté devient hydraulique à 1.600° et par conséquent impropre à la sucrerie.

On ne doit donc jamais dépasser 1.400°, sous peine de coller son four.

Nous avons dit tout à l'heure qu'il fallait cuire la pierre à chaux parfaitement sèche, car l'évaporation de l'eau qu'elle contient absorbe beaucoup de calorique, et exige la combustion d'une quantité correspondante de charbon. Cependant il est une expérience fort ancienne qui semble prouver le contraire.

Si dans un tube de fer on calcine du marbre, la décomposition est lente et demande une haute température. Mais si on chauffe le marbre de la même manière en faisant passer dans le tube un courant de vapeur d'eau, ou simplement un courant d'air, la décomposition du carbonate de chaux est très rapide. Si, au contraire on fait passer un courant d'acide carbonique, le calcaire ne se décompose pas du tout.

Ces phénomènes s'expliquent facilement en tenant compte de la théorie de Sainte-Claire-Deville sur la dissociation, car la chaux et l'acide carbonique mis en présence à haute température tendent toujours à se recomposer. Si donc on fait circuler rapidement du gaz inerte dans le tube, vapeur chauffée, air, ou même oxyde de carbone, ces gaz agissent mécaniquement en balayant devant eux l'acide carbonique formé, en sorte que la chaux produite ne se retrouve plus en présence de l'acide et reste à l'état de chaux vive.

Il résulte de là qu'en présence d'un courant de gaz inerte on n'a plus besoin de chauffer autant le four, car la dissociation commence à être très appréciable à 860° selon les expériences de Sainte-Claire-Deville. Par conséquent à cette température on pourra faire de la chaux, mais le temps employé pour chasser tout l'acide carbonique sera plus long qu'à une température plus élevée et dans les mêmes circonstances.

Le docteur Herzfeld a constaté qu'en présence de la vapeur surchauffée la décomposition du calcaire est nulle à 200° et qu'elle peut être complète dès 620° ; mais que, de plus, l'action de la vapeur surchauffée est très défavorable lorsque le calcaire est impur, et que l'on forme ainsi beaucoup de *chaux morte*.

Il résulte de ces considérations qu'un calcaire légèrement humide se décomposerait plus vite que la même qualité sèche, l'atmosphère de vapeur d'eau surchauffée existant dans le four facilitant le départ de l'acide carbonique, si cette humidité pouvait se conserver jusqu'au point où le four est rouge, ce qui est peu probable. Mais on conçoit qu'il ne faille pas tomber dans l'excès contraire. D'ailleurs les calcaires en tas ne se dessèchent jamais complètement. Ils jettent leur *eau de carrière* comme on dit, mais conservent leur humidité *hygrométrique* dont on ne peut les débarrasser qu'à haute température, ce qui est le cas favorable que nous devons rechercher dans nos fours.

On peut conclure de là qu'un four marchera d'autant mieux, c'est-à-dire produira d'autant plus de chaux dans le même temps, que son mode de construction permettra au gaz carbonique formé de se séparer plus vite de la chaux à laquelle il était combiné et à laquelle il tend toujours à se recombinaison. C'est pourquoi les fours qui sont larges à la base, avec une vaste ouverture pour l'arrivée de l'air et la même section sur toute la hauteur, donnent plus de chaux dans le même temps que les fours tronconiques. Il est, en effet, essentiel que les gaz circulent librement et rapidement dans toute la hauteur du four. Or, nous avons vu que pour les diffuseurs la forme cylindrique était la plus favorable au mouvement normal des liquides. Il en est de même pour les gaz qui circulent autour de la pierre à chaux. Il est donc naturel de supposer que la forme cylindrique soit la plus normale pour les fours à chaux, puisque la circulation facile des gaz est la condition de leur bonne marche. En tout cas la forme tronconique ne s'explique pas ; car, si l'on examine le four Cail (fig. 91), on remarque que la partie rétrécie est justement celle où les gaz affluent en plus grande abondance, avec un grand volume à cause de leur température, et, par conséquent, qu'il y a là une grande perte de charge qui augmente la pression sur le feu. Or, l'augmentation de pression coïncide avec l'augmentation de température de dissociation des gaz comme l'a montré Sainte-Claire-Deville, et, à température égale, avec l'augmentation de temps du phénomène.

Un four tronconique donnera donc moins de chaux dans le même temps qu'un four cylindrique.

Décluy a fait (1897) un travail très remarquable sur les fours à chaux.

Il a étudié la marche descendante très lente de la chaux et du combustible parallèlement à la marche ascendante très rapide de l'air de l'acide carbonique et autres gaz.

Il a divisé le four en quatre zones correspondant aux quatre phases du travail.

La zone inférieure est celle de refroidissement pour la chaux. Au-dessus est la zone de dissociation, c'est-à-dire la zone chaude où la chaux se sépare du gaz carbonique. Plus haut est la zone de chauffage, où le calcaire et le combustible prennent les calories que leur abandonne les gaz de la combustion. Et enfin tout en haut, est un espace vide que Décluy nomme zone de régulation, et qu'il assimile à la boule d'air des pompes, qui atténue les à-coups et maintient une pression régulière à la surface des matières solides du four.

L'air traverse d'abord la zone du bas et s'y réchauffe. Pour que cet échange de température soit le plus parfait possible il faut donc que le mouvement de l'air soit lent. Aussi Décluy élargit-il cette partie du

four en forme tronconique pour augmenter le plus possible les points de contact de la chaux et de l'air.

L'air chaud arrive alors dans le brasier de la zone de dissociation. Il doit affluer en quantité suffisante pour transformer le carbone du combustible en acide carbonique, un trop faible afflux donnant de l'oxyde de carbone. De plus cette zone doit être de faible épaisseur et à une température convenable, car une grande hauteur de charbon en ignition donne de l'oxyde de carbone, et une trop haute température décompose l'acide carbonique trop facilement en oxyde de carbone et oxygène. Enfin les gaz doivent y circuler rapidement pour accélérer le départ de l'acide carbonique et le soustraire aux décompositions possibles.

La vapeur d'eau contenue dans l'air humide de l'atmosphère subit ici elle-même la dissociation ou aide au départ de l'acide carbonique.

Les gaz qui sortent de cette fournaise sont à une très haute température. Ils sont composés d'acide carbonique, d'oxyde de carbone, d'azote avec un peu d'hydrogène et même de l'oxygène. Ils rencontrent les charges, les échauffent et les rendent à l'état le plus approprié à la combustion et dissociation.

Comme il doit y avoir échange de température entre ces gaz et les matières solides, Décluy évase le four à cet endroit pour augmenter les points de contact, remarquant d'ailleurs que, les gaz ayant un volume considérable, l'espace doit s'agrandir en effet pour leur conserver une vitesse égale à celle qu'ils avaient antérieurement.

Mais entre la zone de dissociation et la zone de chauffage, il existe un espace où tous les matériaux sont portés au rouge et prêts à brûler. C'est ce que Décluy nomme zone de transition. Cette zone a plus ou moins d'importance suivant le régime du four. En effet, quand on regarde dans un four, on voit les charges ou noires, ou rouge sombre, ou rouge vif, c'est-à-dire que le four est en marche lente, ou vive, ou trop vive. Dans les deux derniers cas, la zone de transition occupe entièrement la zone de chauffage.

Décluy s'est livré à de nombreuses expériences pour se rendre compte quelle était de ces trois allures la plus favorable, et il a reconnu que c'était l'allure vive qui donnait le plus de chaux dans le même temps et le gaz carbonique le plus riche, obtenant ainsi des gaz à 31,2 de richesse, avec 11,1 de charbon pour 100 de calcaire, qui donneraient théoriquement 35 pour 100 d'acide carbonique.

D'après les données tirées de tout ce qui précède, Décluy arrive à donner aux fours à chaux une forme rétrécie à la ligne de feu, c'est-à-dire représentant deux troncs de cône superposés ayant leur petite base commune; c'est donc tout le contraire de la forme ovoïde que l'on don-

naît primitivement à ces fours. Et, pour en faire le tracé, l'auteur part d'un point facile à déterminer dans chaque fabrique, soit la hauteur maxima qu'il faut donner à la chaux dans la zone de refroidissement pour éviter que la chaux s'écrase sous le poids de cette colonne. Ceci connu il donne à la zone de refroidissement un volume correspondant à cette hauteur possible. Mais il fait remarquer que plus cette hauteur est grande plus le four s'allonge.

Nous remarquons alors qu'à la limite, avec des chaux résistantes et ne s'écrasant pas, le four devient un cylindre parfait, résultat que Décluy n'a pas envisagé, et qui en revient à ce que nous disions précédemment, mais il a une très grande hauteur.

Cette étude est donc fort intéressante parce qu'elle analyse exactement tous les phénomènes qui se passent dans un four à chaux, et nous renseigne sur un fait constaté par beaucoup de praticiens que ce qu'il appelle *l'allure vive* d'un four est très bonne, et c'est celle qui correspond à la vue intérieure du four entièrement au rouge cerise, les charges nouvelles se détachant en noir sur le fond.

D'après les expériences de Décluy, un four cylindrique à allure vive ou rouge fait deux fois plus de travail qu'à allure lente ou noire. En sorte qu'avec un four de 20 mètres cubes il put faire la chaux et le gaz carbonique nécessaires au travail des 225.000 kilogrammes de betteraves, en obtenant du gaz à 31,2 % comme nous le disions plus haut.

Ce résultat est très beau, car nombre d'usines ont jusqu'à 60 mètres cubes de four pour faire ce travail et sont heureuses d'obtenir avec ces grands fours du gaz à 18 et 20 % de richesse !

Les fours cylindriques, ou tout au moins à peu près cylindriques, conservant un peu de fruit intérieur aux murailles pour permettre à la chaux de s'écouler plus facilement, sont donc les meilleurs. Les fours franchement tronconiques ou ovoïdes sont moins bons. C'est d'ailleurs ce que la pratique confirme après la théorie.

Nous allons examiner maintenant les principaux fours employés en sucrerie.

FOURS A CHAUX DIVERS

Il y a deux sortes de fours à chaux : les fours à foyers extérieurs, et les fours sans foyers, dans lesquels la pierre à chaux et le combustible sont chargés ensemble.

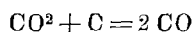
Le four Cail que nous avons décrit (fig. 91) est du premier type, celui dont nous avons parlé à propos du travail de Décluy est du second.

Nous ne décrivons pas plus que nous l'avons fait les fours Cail et

similaires qui tendent à disparaître. Nous ne parlerons que des fours à gazogène comme premier type.

Quant aux autres, ils sont nombreux et nous n'en citerons qu'un, tous les autres étant analogues. Nous mentionnerons aussi dans la même catégorie les fours à injection de vapeur.

Fours à chaux à gazogène. — Les gazogènes sont des foyers dans lesquels le combustible a une grande épaisseur. Il en résulte que l'acide carbonique CO^2 formé dans la couche en combustion, rencontrant une couche de transition portée au rouge, se transforme en oxyde de carbone CO .



Le carbone du charbon est donc transformé en gaz combustible que l'on peut transporter au loin et enflammer au point où l'on veut effectuer un chauffage déterminé. On a donc transformé ainsi un combustible solide en un combustible gazeux bien plus commode à employer, et permettant d'obtenir facilement une haute température dans l'espace où on les brûle.

Mais cette transformation de l'état solide à l'état gazeux absorbe une certaine quantité de calories, et, dans le cas du coke, ces calories montent à 33 % des calories totales produites par la transformation du coke en acide carbonique.

Le gazogène ne se recommande donc pas comme un appareil économique, puisqu'au contraire son intermédiaire est la cause d'une perte considérable. Mais il a sa raison d'être comme appareil de régularisation et de bonne utilisation du combustible.

Le moyen industriel de parer à l'inconvénient de la perte de calories provenant de la transformation de CO^2 en CO , est l'emploi des récupérateurs qui permettent de chauffer l'air nécessaire à la combustion de CO au moyen de la chaleur dégagée par cette combustion.

Dans les fours à chaux, ce récupérateur existe naturellement, puisque l'air nécessaire à la combustion traverse la chaux rouge et s'y réchauffe au point d'enflammer naturellement l'oxyde de carbone sortant du gazogène.

Néanmoins, comme dans toutes les espèces de four à chaux ce même récupérateur existe, il est parfaitement évident que les fours à gazogène doivent brûler plus de charbon que les fours où le charbon et le calcaire sont mélangés.

Quels sont donc les avantages qui peuvent militer en faveur des fours à gazogènes ?

Si l'on compare les fours à chargement direct et les fours à gazogènes, on voit :

1° Que les seconds fournissent de la chaux absolument pure des cendres du combustible.

2° Que les seconds emploient intégralement tout leur combustible, tandis que les premiers laissent échapper presque toujours soit dans la chaux des fragments de charbon non brûlés, soit dans le gaz de l'oxyde de carbone provenant de la décomposition de l'acide carbonique en présence des charges nouvelles de charbon.

3° Que la décomposition du calcaire en chaux se fait en un point exactement déterminé à l'avance dans le four, en face des buses d'arrivée de gaz du gazogène, tandis que dans les fours ordinaires la ligne de feu monte ou descend suivant l'habileté du chauffournier et la vitesse de la pompe à gaz.

4° Que le réglage du four à gazogène est beaucoup plus facile, une fois son régime connu, que celui des autres.

5° Qu'un four à gazogène peut être rempli beaucoup plus qu'un autre, ce qui a l'avantage de diminuer son volume, et par conséquent son prix d'établissement, et ensuite d'obtenir des gaz plus froids; l'excès de calcaire étant un excellent récupérateur des chaleurs perdues.

6° Qu'enfin on peut employer toute espèce de combustible (non sulfureux) dans les gazogènes, ce qui est impossible avec les autres fours.

Tous ces avantages, sans pouvoir se chiffrer, font cependant que, dans bien des cas, les fours à gazogènes ne brûlent pas plus que les autres, et surtout donnent des chaux plus pures qui rachètent d'autant l'excès de combustible qu'ils pourraient consommer.

Si par exemple, on emploie du coke à 8 % de cendres dans un four ordinaire consommant 10 % de combustible mélangé au calcaire, la chaux contiendra environ 1 % de cendre provenant du combustible. Dans une usine qui traite 250 tonnes de betteraves par jour et qui emploie 3 % de chaux aux carbonatations, soit 7.500 kilogrammes de chaux, on introduira dans les jus 75 kilogrammes de cendres par jour, qui pourront immobiliser 250 à 300 kilogrammes de sucre dans la mélasse. On voit donc qu'il faut y regarder. Ceci nous enseigne aussi que dans les fours coulants on ne doit jamais employer comme chaux que des morceaux criblés, et non le tout-venant du four qui en contient toutes les impuretés.

Les fours à foyers extérieurs sont donc préférables aux fours à chargement mixte. Seulement les foyers gazogènes sont éminemment supérieurs aux fours à foyers extérieurs ordinaires, le combustible y étant bien mieux utilisé. Cela n'a besoin que d'un peu de réflexion pour s'en convaincre et se passe de démonstration.

La bonne marche pour un gazogène est la suivante. La combustion doit être lente, la grille ne doit pas rougir, les gaz ne doivent pas s'échapper à plus de 850 à 900° pour le coke, ou 600 à 650° pour la houille et il doit y avoir un espace libre suffisamment grand au-dessus du charbon à l'endroit où s'échappe le gaz oxyde de carbone. Il y a, de plus, avantage à avoir sous la partie horizontale de la grille une réserve d'eau qui, en s'évaporant, rafraîchit les parties métalliques, et fait au contact du charbon rouge ce que l'on appelle du *gaz à l'eau*, soit le mélange $\text{CO} + \text{H}^2$.

Certains gazogènes sont même aménagés spécialement pour produire beaucoup de gaz à l'eau.

Quelle est la quantité de coke qu'un gazogène peut transformer en oxyde de carbone?

Cette quantité est absolument variable avec la forme des gazogènes, suivant que la grille est horizontale, ou inclinée. Ainsi sur une grille horizontale, avec 1^m,30 de charge sur la grille, on ne gazéifie que 7 à 800 kilogrammes de houille par 24 heures par mètre carré (30 kil. par heure).

On gazéifie dans tous ces appareils plus de coke que de houille dans le même temps. Au lieu de 30 kilogrammes de houille on brûlerait environ 50 kilogrammes de coke.

Les grilles inclinées ont des formes différentes suivant que l'on brûle de la houille ou du coke, à cause du mâchefer que l'on est obligé d'écartier, ce qui fait que les grilles inclinées sont suivies d'une grille presque horizontale d'autant plus longue que le combustible est plus gras. Aussi ne tient-on pas compte de cette grille. C'est la largeur de *poitrine* du four qui entre seule dans l'évaluation de la puissance de combustion, sa hauteur étant d'ailleurs d'environ 1 mètre, hauteur qui a d'ailleurs peu d'importance.

Lencauchez évalue à 1.000 ou 1.500 kilogrammes de houille par 24 heures, ou 50 kilogrammes par heure, la quantité qui est transformée en gaz combustible par mètre linéaire de *poitrine* ou largeur de gazogène, et il porte à 66 kilogrammes par heure la quantité de coke gazéifié, quantité qui peut être portée à 80 kilogrammes si l'appareil a une grande épaisseur de combustible. Ces données suffiront pour se rendre compte de la force des gazogènes et de l'allure à laquelle on devra les mener.

Il faut faire attention dans la structure des canaux de ménager des ouvertures pour pouvoir les nettoyer facilement. De plus, la direction qu'on leur donne n'est pas sans intérêt, à cause du tirage provenant de la différence de densité des gaz chauds. Si l'on veut un fort tirage, on

devra diriger vers le haut leur bouche de décharge. Si l'on désire modérer le tirage, on les fera déboucher plus bas, leur faisant faire siphon. Dans les longues conduites métalliques, on se sert du refroidissement de la conduite et des siphons qu'on lui fait faire pour régler automatiquement le tirage, et par conséquent l'alimentation d'air du four. De ces détails dépend souvent la bonne ou la mauvaise marche d'un gazogène.

Four à gazogène de Toisoul et Fradet (fig. 93). — Ce four à chaux est à quatre foyers-gazogènes genre Siemens. Les constructeurs recommandent de ne pas lui donner plus de 2^m,50 dans le bas à la hauteur du feu. La hauteur totale est de 10 mètres et la capacité 30 mètres cubes. Il peut produire 8 à 10.000 kilos de chaux en 24 heures. Pour une quantité de chaux double il y aurait avantage à construire deux fours.

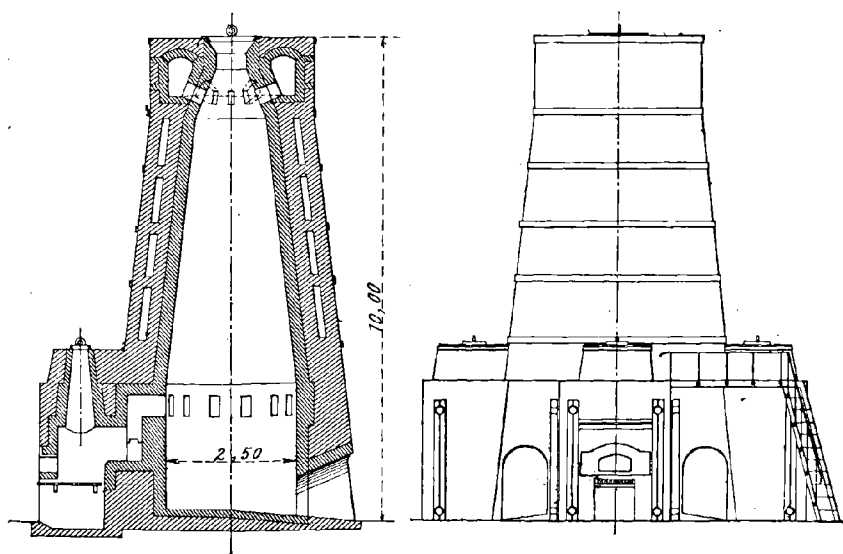


Fig. 93.

Les quatre gazogènes échappent leurs gaz combustibles par une série d'ouvertures qui sont également espacées tout autour du four.

L'air nécessaire à la combustion traverse l'épaisse couche de chaux cuite qui se trouve au-dessous de la ligne de feu, s'échauffe en refroidissant la chaux et allume les gaz qui s'échappent des gazogènes.

Le tirage de l'air comburant et des gaz combustibles des gazogènes se fait par la pompe à gaz. Il faut donc régler l'air à son entrée dans le bas du four de manière à ce qu'il n'afflue que juste en quantité suffi-

sante pour la combustion tout en laissant aux gazogènes le tirage suffisant pour leur bonne production de gaz combustible. C'est là le point délicat du système.

Il faut aussi entretenir la couche de charbon de même hauteur sur les quatre gazogènes, et décrasser ceux-ci de même manière pour qu'ils travaillent tous avec la même activité. Avec un peu d'habitude on y arrive, mais il faut une surveillance intelligente et continuelle.

Le gaz allumé entretient, un peu au-dessus des ouvertures, une zone de température élevée qui donne une excellente cuisson de la pierre à chaux. Les gaz brûlés traversent ensuite une épaisse couche de calcaire qu'ils échauffent en se refroidissant eux-mêmes, de sorte que le gaz carbonique extrait par la pompe est relativement plus froid qu'avec les fours ordinaires.

Dans ces gazogènes il faut brûler du coke que l'on emploie à raison de 13 kilos par cent kilos de pierre, en produisant du gaz à 28 et 30 % d'acide carbonique.

Four à gazogène Hignette. — Se basant sur ce que nous avons exposé précédemment à propos des gazogènes appliqués au four à chaux, Hignette, voulant construire de grands fours pour une sucrerie importante, a donné à ces fours une forme spéciale permettant la combustion parfaite du gaz. Au lieu d'être ronds, ses fours sont allongés, ayant une section de parallélogramme à angles arrondis, grâce à laquelle le calcaire se trouve sous une faible épaisseur horizontale qui permet à la flamme de s'étendre en tous ses points.

Le gazogène est du modèle des grands gazogènes que nous avons décrits, à grille inclinée. Un carneau de gaz circule tout autour du four. Outre les événements par lesquels il se répand et brûle tout autour du four, Hignette a ménagé, dans le même plan, des sommiers en matières réfractaires, traversant le four de part en part, creux intérieurement, percés de trous latéraux, et par lesquels le gaz pénètre également dans la masse calcaire et brûle.

Le four est d'ailleurs un four coulant à parois presque verticales. La chaux cuite repose sur une grille faite de grosses barres de fer déplaçables au moyen d'une manivelle, ce qui lui permet de tomber sur le sol par l'écartement des barreaux.

Les mêmes observations qu'au précédent s'appliquent au four Hignette.

Four à chaux à gazogène Fichet et Heurtey (fig. 94). — Le gazogène Fichet et Heurtey était employé déjà à divers usages, lorsque les inven-

leurs ont été suscités à l'appliquer au four à chaux et ils ont parfaitement réussi, résolvant même un problème qui se posait dans les fours à gazogène, la régulation séparée du gazogène et de l'alimentation d'air.

En effet, le gazogène Fichet et Heurtey se suffit à lui-même, ayant

LÉGENDE

- A. Gazogène à sole tournante.
- B. Manivelle de décrassage.
- C. Mâchefer recouvrant la sole.
- D. Souffleur à jet de vapeur.
- E. Trémie de chargement.
- F. Sortie de gaz.
- G. Échappement de gaz à l'air libre.
- H. Arrivée de l'air soufflé.
- I. Couronne de distribution.
- J. Vannes des tuyères et regards.
- K. Four à chaux.
- L. Cône de fermeture.
- M. Collecteur d'acide carbonique.
- N. Trous de piquage.
- O. Porte de sortie de la chaux.

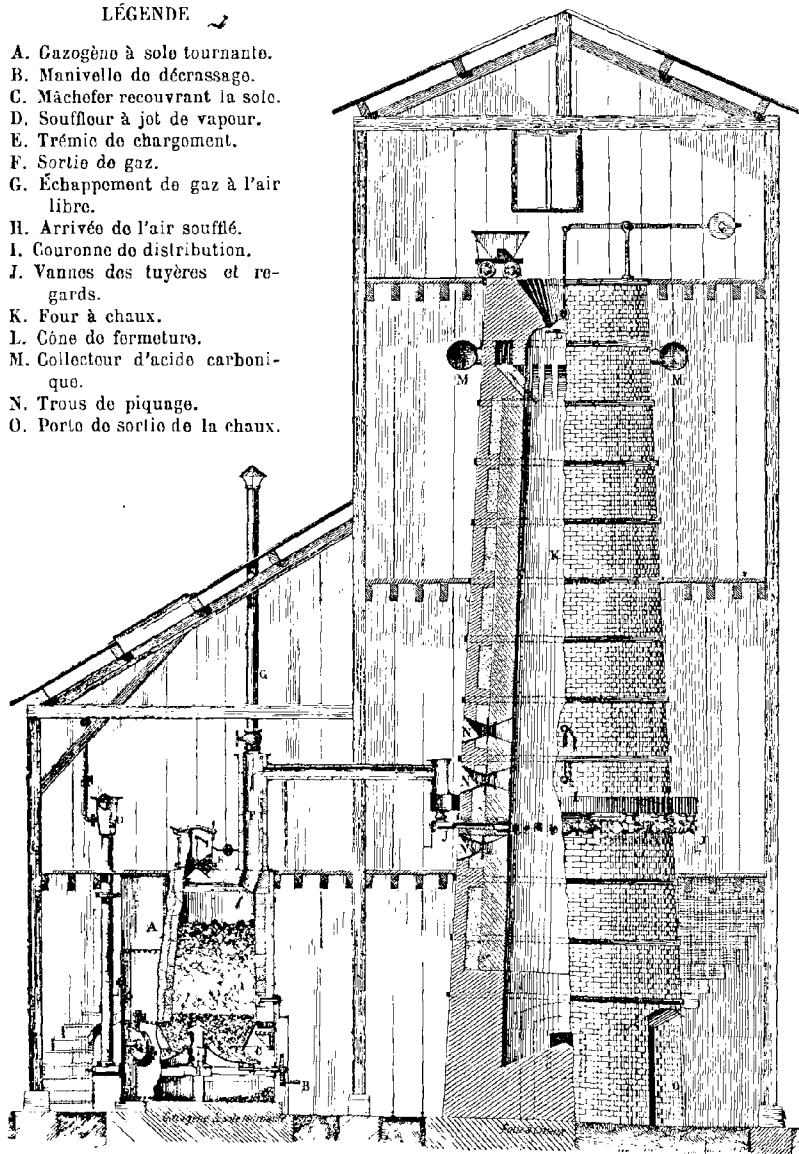


Fig. 94

son alimentation d'air séparée, et, si la pompe à gaz de l'usine s'arrêtait, le gazogène marcherait quand même. La pompe à gaz n'a donc pour mission exclusive que l'aspiration des gaz brûlés, qui entraîne à sa suite par conséquent l'alimentation de l'air comburant. Il faut donc que la marche de la pompe à gaz soit *absolument* régulière, étant donnée la régularité de la marche du gazogène, pour que l'air comburant arrive dans la proportion exactement nécessaire à la combustion. Ayant ainsi un gazogène bien réglé et une aspiration d'air et de gaz brûlé constante, on peut obtenir du gaz carbonique aussi pur que possible. Et, de fait, ces fours peuvent fournir du gaz dont la richesse varie de 30 à 35 % d'acide carbonique, en ne brûlant que 7 et demi à 9 kilos d'antracite par 100 kilos de pierre à chaux.

Le gazogène Fichet et Heurtey est dit *gazogène soufflé*, parce que l'air y arrive sous la pression d'un injecteur. C'est une cuve cylindrique étanche en tôle, doublée intérieurement d'un garnissage réfractaire, et surmontée d'une trémie à double fermeture pour le chargement du combustible. Le départ du gaz est placé sur le couvercle. Des portes et des regards sont ménagés sur différents points pour le service. Son diamètre extérieur est de 2^m,50 et sa hauteur 4 mètres.

Il n'y a pas de grille. Le combustible repose sur une couche épaisse et perméable de mâchefers provenant de la combustion. Le mâchefer est supporté lui-même sur une sole pleine horizontale qui peut recevoir un mouvement de rotation au moyen d'une manivelle actionnée de l'extérieur. Cette sole du système W. Taylor est montée sur boulets, et tourne autour d'un axe. Cette disposition a pour effet de permettre le décrassage en pleine marche, sans arrêt ni trouble dans la production du gaz et de brûler le combustible sans aucun déchet.

L'introduction de l'air dans le gazogène se fait avec un injecteur à vapeur au moyen duquel on règle à volonté la pression du soufflage. L'air soufflé arrive par l'axe de la sole dans la couche perméable de mâchefer et se répartit uniformément sur toute la section du gazogène. Un manomètre à eau placé sur la conduite d'air indique la pression du soufflage. On la fait varier suivant que l'on veut produire plus ou moins de gaz, et tant que la pression ne change pas la production du gaz reste constante.

La vapeur d'eau qui arrive avec l'air se décompose au contact du charbon incandescent en faisant $\text{CO} + \text{H}^2$, de sorte que le gaz a une très grande chaleur de combustion. D'autre part cette vapeur facilite le décrassage en évitant l'adhérence des mâchefers.

Dans ce gazogène on peut employer tous les combustibles. Cependant pour les fours à chaux il est préférable d'user de combustibles mai-

gres, charbons, coke ou anthracite, pour éviter les dépôts de goudron dans les conduites.

Le gazogène fournit donc de l'oxyde de carbone mêlé à une petite quantité d'hydrogène, et ce gaz est sous pression. Il peut donc être à une certaine distance du four à chaux. Il faut avoir soin d'envelopper les tuyaux qui conduisent ces gaz au four à chaux avec une épaisse couche d'isolant pour lui conserver toute sa température.

Le four à chaux lui-même est d'un modèle quelconque. Les inventeurs ont adopté le four presque cylindrique, légèrement tronconique, ayant environ 2^m,90 à la ligne de feu et 14 à 15 mètres de haut. Au tiers de la hauteur utile, on ménage dans la maçonnerie une conduite circulaire pour l'arrivée du gaz, débouchant dans le four par une grande quantité de tuyères en fonte affleurant le garnissage réfractaire intérieur. C'est dans cette conduite que vient déboucher le tuyau d'arrivée de gaz du gazogène.

Dans certains cas la conduite circulaire est extérieure et métallique, comme c'est indiqué sur notre dessin.

Le gaz s'échappe des tuyères sous une pression de plusieurs centimètres d'eau, et avec une vitesse qui le fait arriver sans peine jusqu'au centre du four. Comme la section des tuyères est extrêmement réduite, que les tuyères sont très nombreuses, les veines de gaz sont très divisées, leur mélange à la colonne d'air chaud très intime, et la combustion est complète sur une faible hauteur, la chaleur étant répartie uniformément sur toute la section. Les parois du four sont donc très ménagées, et de fait se détériorent très peu. Enfin la combustion s'effectuant à flamme courte, la zone de très haute température n'occupe pas plus de 2 mètres de hauteur au-dessus des tuyères.

Nous avons dit qu'une certaine quantité d'hydrogène existait dans les gaz. Cet hydrogène se transforme en eau surchauffée pendant la combustion et favorise le départ de l'acide carbonique.

Le four Fichet et Heurtey possède donc de très grandes qualités qui nous ont engagé à nous étendre un peu dans sa description.

Fours à chaux sans foyer. — Les fours belges ou allemands, comme on voudra bien les nommer, car leur origine et belge est leurs propagateurs allemands, sont ceux qui fonctionnent dans les meilleures conditions, et donnent le plus de chaux sous le plus petit encombrement. Nous allons décrire entre autres le four Khern, construit par la maison J. Blanche, et qui est l'un des bons types de ces appareils (fig. 95).

Notre dessin représente un four ayant 15 mètres de hauteur au-dessus du sol, avec élévateur à eau sur le côté. Il est enveloppé complètement

d'une chemise en tôle qui porte à sa périphérie, à l'endroit de sa plus grande largeur, une forte cornière faisant talon dans la maçonnerie. Cette cornière elle-même repose sur 6 colonnes qui supportent tout le four. Il tient donc entièrement dans un espace circulaire de 3^m,75 de diamètre, soit 4^m,60 de fondation.

Sa forme générale est un tronc de cône très allongé. Il a 2^m,440 intérieur à la base, et 1^m,610 au gueulard. Au-dessous de la grande base, le four se rétrécit en forme d'entonnoir pour l'évacuation de la chaux cuite. Cette partie a 2^m,660 de hauteur, et l'ouverture de sortie 1^m,200. La chaux tombe ainsi entre les pieds des colonnes d'où l'extraction est très facile. La fondation est en cet endroit relevée en un mamelon conique dans l'axe du four, pour aider à l'évacuation facile de la chaux. Ce mamelon est lui-même armé d'une calotte de fonte pour éviter sa déformation.

Entre la garniture réfractaire intérieure et l'enveloppe de tôle, se trouve une garniture isolante, sable ou mâchefer. De nombreux regards permettent de suivre la marche du feu. L'extraction du gaz carbonique se fait en deux points dans le haut, sans galerie comme dans les autres fours.

Le bouchon de la trémie est d'une forme particulière. Il ferme la trémie par-dessus, épousant sa forme sur un petit diamètre pour faire joint étanche. Il est creux, et surmonté d'une cheminée munie d'un papillon de fermeture. Cette cheminée sert pour l'allumage ou pour les moments d'arrêt de la pompe, évitant ainsi aux hommes qui sont sur la plateforme l'action des gaz délétères qui se dégagent, à ces moments,

de la trémie. Seulement la cheminée est fixe et le bouchon mobile autour, de sorte que lorsqu'on soulève le bouchon pour faire les charges il glisse autour de la cheminée, et quand on le remet en place il fait joint avec la base de la cheminée qui porte un rebord garni de cendre sur lequel repose un rebord semblable, mais renversé, ménagé dans la

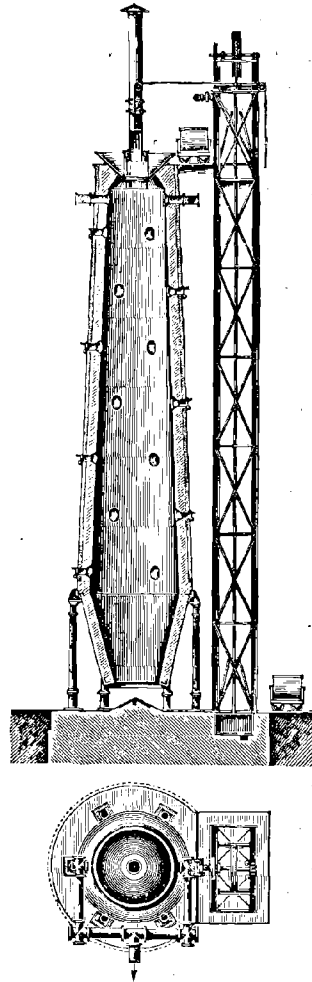


Fig. 95.

partie supérieure du bouchon. Les charges se font toutes les heures avec 400 kilos de pierre et 30 kilos de coke, de sorte que le four consomme 7^k,5 de coke par 100 kilos de pierre. Il serait préférable de faire les charges par moitié toutes les demi-heures, si ce n'était le trop grand rapprochement de ces opérations.

En marche normale, à la première lunette du bas, le four doit être presque obscur, à la deuxième rouge, à la troisième blanc, à la quatrième rouge, à la cinquième presque obscur. La ligne de feu se trouve donc un peu au-dessous de la moitié de la hauteur du four.

400 kilos de pierre donnant à peu près 200 kilos de chaux, ce four peut donc produire 4.800 à 5.000 kilos de chaux par 24 heures, avec du gaz à plus de 30 d'acide carbonique.

Fours à chaux avec injection de vapeur surchauffée. — Nous avons vu que la vapeur surchauffée injectée dans une couche de calcaire portée entre 600° et 800° permet le dégagement rapide du gaz carbonique.

Comme l'obtention d'une température de 800° est plus facile à obtenir et à régler, et coûte moins cher et a moins d'inconvénients au point de vue du collage que celle de 1400° à 1600°, plusieurs inventeurs ont été tentés par l'idée de réaliser des fours marchant dans ces conditions.

Un Allemand, *Grouwen*, a proposé de faire la chaux dans des espèces de creusets placés dans un foyer, au nombre de 7 et plus, dans lesquels on injecterait de la vapeur. Avec 7 creusets on pourrait traiter 7.500 kilos de pierre à chaux par jour. L'air est injecté sous le foyer par un ventilateur. Les gaz de la combustion échangent leur température avec l'air injecté au moyen d'un récupérateur tubulaire. Pour 1.000 kilos de calcaire il faut injecter 1 kilo de vapeur par minute pendant 4 heures.

Lorsqu'un creuset est terminé, on l'isole, le vide, le remplit et recommence l'injection de vapeur aussitôt que la craie est portée au rouge. 1.000 kilos de calcaire demandent 120 kilos de coke et 240 kilos de vapeur par ce procédé.

On voit que c'est un appareil intermittent.

Reboux a pris en 1887 un brevet pour un appareil continu. La mort de l'inventeur n'a pas permis de pousser les expériences. Mais comme la fabrication de l'acide carbonique très riche et de la chaux pure est un problème auquel on reviendra un jour, nous décrivons sommairement son appareil, car il est très bien conçu.

Il a la forme d'un four ordinaire, légèrement tronconique pour permettre la descente de la chaux.

Au centre est un cylindre avec une grille au bas pour y faire du feu. Autour de ce cylindre est l'espace où se trouve le calcaire. Et autour

de cet espace se trouve une chemise circulaire laissant un vide de 10 centimètres avec la maçonnerie du four, et en communication avec des foyers extérieurs au nombre de trois.

L'espace où se trouve le calcaire se trouve donc chauffé par le foyer central et par les foyers extérieurs. La couche de calcaire entre les deux parois chaudes a une épaisseur de 60 centimètres dans le bas où se fait le refroidissement, et 45 centimètres à mi-hauteur du four. A l'endroit où la chaleur est la plus intense, des tubes de fer percés de trous amènent la vapeur surchauffée provenant d'un générateur spécial.

Le gaz carbonique est aspiré comme à l'ordinaire par une pompe. Mais comme il ne doit y avoir ni vide ni pression dans le four, un régulateur hydraulique agit sur la machine pour réaliser son aspiration proportionnellement au débit du four.

Les gaz de la combustion s'échappent par un large conduit au centre duquel se trouve le surchauffeur de vapeur, et traversent ensuite les tubes du générateur chargé de produire la vapeur du four et de la pompe à air.

Une cheminée, munie de registres, vient à la suite pour régler le tirage des foyers.

Le déchargement du four se fait par des portes latérales comme dans les fours ordinaires, mais que l'on doit tenir parfaitement closes.

On voit que dans ce système la vapeur n'entre pas comme dépense, le combustible seul doit être compté. Si les proportions relatives du four sont bien gardées, on conçoit que l'on ne doive pas brûler plus de coke dans ce système que dans tout autre, avec l'avantage d'une chaux bien cuite, absolument dénuée des cendres du combustible, et d'un acide carbonique très riche et très pur. Enfin l'appareil est continu, ce qui est le desideratum de tout travail d'usine.

Collage des fours à chaux. — Nous avons vu que la présence de la silice dans la pierre à chaux et une température de 1.600° amenaient inévitablement la formation de verres calciques, qui, lorsqu'ils sont en suffisante abondance, produisent le *collage* du four à chaux.

D'après le D^r Herzfeld la présence de 6,7 pour cent de silice dans la pierre à chaux suffit pour la transformer complètement, en deux heures, en silicate sur lequel l'immersion dans l'eau n'a plus aucun effet, surtout en présence de l'alumine et encore plus du fer. D'ailleurs les veines siliceuses dans la pierre sont moins dangereuses que la répartition uniforme de la silice très divisée dans toute la masse. Lorsque l'on analyse la pierre à chaux il faut donc tenir compte de la forme sous laquelle s'y présente la silice.

En général une chaux qui contient 2,5 à 3 % de silice doit être rejetée

comme dangereuse, non seulement à cause des collages, mais à cause de la silice qu'elle introduit dans les jus et qui incruste d'une façon très désagréable les appareils d'évaporation.

Quand un four est *collé*, il faut chercher à détruire la voûte qui se forme au milieu du calcaire et empêche les charges de descendre.

C'est une opération très délicate, parce qu'en cassant cette voûte on risque d'arracher les briques réfractaires qui forment la chemise intérieure du four. Souvent, lorsque le collage est trop important, on en est réduit à arrêter le four, c'est-à-dire l'usine entière pendant plusieurs jours ! La voûte en se refroidissant craque le plus souvent d'elle-même.

Nous avons cependant imaginé, en un jour de détresse, en 1895, à la sucrerie d'Antequera, un procédé qui nous a admirablement réussi pour décoller un four, dans lequel une voûte s'était formée et qu'aucun moyen mécanique n'avait pu démolir. Nous le recommandons aux fabricants de sucre à cause de sa simplicité.

Il ne faut pas laisser refroidir le four. On isole la voûte en tirant le plus de chaux cuite possible en dessous, et faisant couler au fond toute la pierre à chaux et le coke qui pourraient être au-dessus de la voûte; puis on lance dans le four sur la voûte, au point qui pourrait en être la clef, une boule de minium grosse comme le poing. Au bout de peu de temps, moins d'une heure dans l'expérience que je fis, la voûte s'effondre.

Dans les morceaux que l'on retira du four que nous avons traité ainsi, nous vîmes que le plomb s'était combiné à la silice, avait fait un verre très fusible qui s'était faulé en coulant entre les morceaux de chaux et avait désagrégé la masse, provoquant la chute de la voûte. C'est le résultat que nous attendions.

Il faut éviter que le minium ne touche le briquetage du four car il le ferait couler de même.

§ 2. — Extinction de la chaux.

En général on emploie la chaux en sucrerie à l'état de lait de chaux. La chaux est alors éteinte, puis mélangée à un degré voulu avec de l'eau, ce qui constitue le lait de chaux.

On a employé aussi la chaux éteinte avec la quantité d'eau strictement nécessaire pour la faire passer à l'état de poussière. Ou bien encore on a mis un peu plus d'eau pour l'amener à un état intermédiaire entre la poussière et la pâte.

Enfin on a éteint la chaux directement dans le jus.

Toutes ces méthodes ont eu leurs défenseurs parfois acharnés. Mais il

ne reste plus en usage que le lait de chaux et l'extinction de la chaux dans les jus, et nous ne décrirons que ces deux méthodes en détail, ne parlant des autres qu'au point de vue d'intérêt général.

Lait de chaux. — Nous décrirons d'abord la méthode ancienne et simple de nos débuts, d'où découlent toutes les autres, méthode employée d'ailleurs encore dans quelques usines.

Pour faire le lait de chaux on se sert de deux bacs. Dans le premier on éteint la chaux en bouillie épaisse exactement comme le font les maçons. Le lait de chaux contenant par exemple par hectolitre 20 kilogrammes de chaux réelle, on éteindra 22 kilogrammes de chaux par hectolitre de capacité du bac; puis on fera couler sur cette chaux éteinte un volume d'eau déterminé par un trait de repère, et l'on mélangera parfaitement le liquide. Sur le second bac qui est placé côte à côte avec le premier, on place un tamis en toile métallique, ou un grillage en fer ayant 2 millimètres carrés au plus entre chaque fil ou traverse, puis avec une grande cuiller on fait passer le liquide bien agité du premier bac dans le second par l'intermédiaire du tamis qui retiendra toutes pierrailles, incuits et corps étrangers. On aura ainsi un lait de chaux parfait que l'on maintiendra homogène par une agitation continue, mécanique ou autre. On peut simplifier encore la main-d'œuvre en plaçant le premier bac plus haut que le second et le munissant d'un robinet de vidange coulant directement sur le tamis. Mais cette disposition réclame deux planchers pour l'ouvrier et le travail n'en est ni plus rapide ni meilleur, la toile métallique débitant relativement peu, et demandant une main-d'œuvre continuelle.

Cette méthode était bonne pour les petites fabriques, mais les usines grandissant, il a fallu employer les machines pour suppléer au travail des bras trop onéreux.

L'extinction se fait maintenant soit dans des citernes, et alors la chaux éteinte est mélangée avec de l'eau dans des malaxeurs spéciaux, soit dans les malaxeurs eux-mêmes, ce qui diminue encore la main-d'œuvre.

Malaxeurs de chaux. — Il existe de nombreux systèmes de malaxeurs. Ce sont presque tous des cylindres verticaux de peu de hauteur dans l'axe desquels tourne un arbre qui entraîne un râteau métallique. Ce râteau peut se relever ou s'abaisser à volonté. Des chaînes parfois traînent au-dessous du râteau pour atteindre le magma qui peut se précipiter au fond du bac. L'eau ou le petit jus nécessaire à la confection du lait de chaux, arrivent par un tube perforé placé à la partie supérieure du bac cylindrique.

On a fait aussi des malaxeurs horizontaux cylindres ou auges dans lesquels tourne un arbre muni de bras.

Ces malaxeurs verticaux ou horizontaux défournent la chaux en lait dans un tamiseur, comme nous le verrons plus loin. Alors on a construit des appareils réunissant malaxeurs et tamiseurs tout à la fois. Enfin plusieurs inventeurs ont reproduit sous des formes à peu près identiques les mêmes dispositions dans leurs différents pays. Nous n'avons donc aucun intérêt à décrire tous les appareils destinés à l'extinction et au malaxage de la chaux.

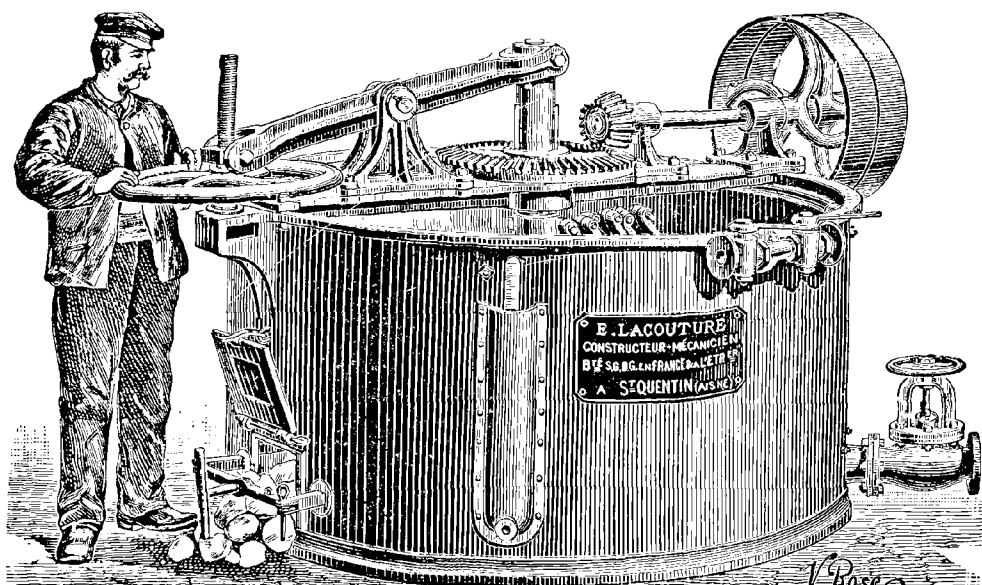


Fig. 96.

Nous ne parlerons donc comme type de ces malaxeurs que ceux construits par la Maison Lacouture qui sont très répandus en France.

Appareils Lacouture (fig. 96). — Les malaxeurs Lacouture se composent d'une cuve cylindrique verticale dans l'axe de laquelle est boulonné un arbre fixe. Cet arbre sert de guide à un arbre creux mobile portant un système de râteau à dents mobiles et pesantes. On peut soulever et abaisser ce râteau au moyen d'un levier mû par vis et volant, de manière à ce qu'il repose sur la chaux et la remue, et qu'on puisse l'abaisser au fur et à mesure de l'extinction jusqu'au fond de la cuve. L'arbre creux a un mouvement rotatif obtenu au moyen d'un grand pignon

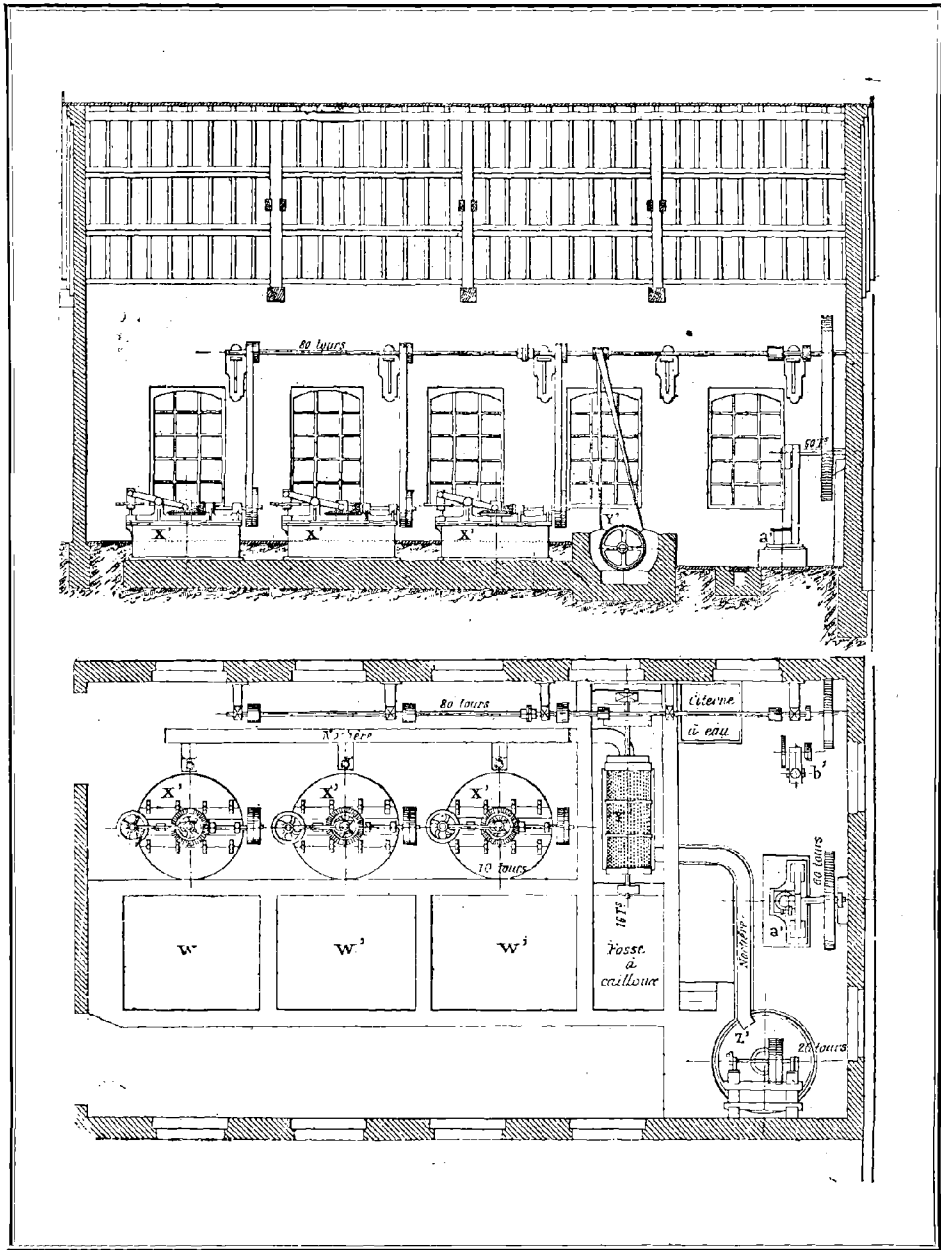


Fig. 97.

d'angle mobile sur cet axe qu'il ne suit pas dans son mouvement et d'un petit pignon fixe reposant sur le couvercle et le rebord du cylindre.

Pour faire voir la marche de ces appareils, nous donnons ci-après la description et le dessin d'une installation complète de préparation de lait de chaux.

Installation d'un atelier de fabrication du lait de chaux (fig. 97). — Comme type d'un atelier pour la fabrication du lait de chaux, nous décrivons celui qui a été installé en 1892 à la sucrerie de Verton, pour un travail de 500.000 kilogrammes de betteraves.

A côté du four à chaux a été construit un petit bâtiment spécial contenant tout le service du lait de chaux.

La chaux extraite du four est jetée successivement dans trois fosses W, W, W, peu profondes, dans lesquelles on l'éteint.

En face de chacune se trouvent trois malaxeurs X, X, X, pour délayer la chaux éteinte. Le service des malaxeurs est très facile, leurs portes supérieures se trouvant presque au même niveau que les murs des fosses d'extinction.

L'eau pour les fosses et pour les malaxeurs est desservie au moyen de trois tuyaux flexibles fixés aux robinets d'une conduite courant au-dessus dans toute la longueur de l'atelier. Par la même conduite on peut au besoin amener les petits jus.

Les malaxeurs se vident au moyen de robinets dans une noyère qui déverse le lait de chaux dans un tamiseur rotatif Y.

Les cailloux retenus par le tamiseur tombent dans une fosse. Le lait de chaux tamisé s'écoule dans un bac en tôle Z où se trouve un malaxeur entretenant l'homogénéité du liquide. C'est là que l'on vérifie la densité du lait de chaux et qu'on la met au point avec de l'eau ou du petit jus.

Enfin une pompe verticale refoule le lait de chaux dans l'usine, dans un réservoir muni également d'un malaxeur, en charge sur la carbonatation, et dont le trop-plein revient dans le bac Z.

Cette pompe est d'un modèle spécial. C'est le corps de pompe qui se meut, tandis que le piston est fixe, portant en son centre le clapet, et sa tige formant tuyau de refoulement. Ces pompes, analogues à celles employées jadis par Champonnois pour la pulpe, fonctionnent très régulièrement dans le lait de chaux.

Une transmission courant le long d'un des murs du bâtiment, met en mouvement les malaxeurs, les tamiseurs et les pompes. Une machine verticale *a*, placée dans le fond et dans l'axe de l'atelier, entraîne la transmission. Cette jolie installation, qui a parfaitement répondu à toutes les exigences du travail est due à la maison française Jean et Peyrusson.

§ 3. — Laveur à gaz.

Le gaz, au sortir du four, est chaud, chargé d'impuretés solides entraînées ; il est bon de séparer les impuretés et de refroidir le gaz pour assurer le bon fonctionnement de la machine aspirante. A cet effet, le gaz traverse, avant d'arriver à la machine, un appareil dit *laveur* (K, fig. 91). L'un des plus employés est un grand cylindre vertical composé de segments superposés et mastiqués, boulonnés entre eux. Entre chaque segment on dispose un diaphragme percé de petits trous, ainsi que d'une large ouverture munie d'un court tuyau vertical coiffé d'une calotte, exactement comme dans les colonnes à distiller. Ces diaphragmes sont généralement au nombre de trois. Le gaz arrive par en bas, le tube adducteur se prolongeant dans le cylindre, sous la forme d'un tuyau tout arcé de trous.

Le gaz alors rencontre le premier diaphragme. Un jet d'eau envoyé à la partie supérieure de l'appareil, coule de diaphragme en diaphragme en sens contraire de la marche du gaz. Celui-ci barbote dans trois eaux différentes avant d'arriver au sommet de l'appareil. L'eau sort par un siphon placé au-dessous du laveur. On règle le jet d'eau de telle sorte que le siphon débite un filet d'eau tiède. Ce réglage ne peut s'effectuer que pendant la marche de la machine. On met souvent sous les diaphragmes des matières filtrantes, comme sable ou charbon. Quelquefois on n'en met que sur le dernier.

Au sortir du laveur, le gaz traverse un nouveau cylindre plus petit I, dit *épurateur à sec*, parfaitement vide, dans lequel il se dépouille de son humidité ; ce cylindre est muni à sa partie la plus basse d'un siphon permettant à l'eau condensée de s'évacuer.

Dans les grandes installations on a intérêt à multiplier le nombre de ces laveurs pour être certain d'avoir un gaz propre et froid.

§ 4. — Tuyauterie des gaz du four à chaux.

Les gaz en sortant du four, au moment où ils entrent dans la tuyauterie d'aspiration de la pompe sont au minimum à 800°. Après avoir passé par le laveur on les ramène à 40°, et même moins ce qui est préférable.

Le volume du gaz $V = v[1 + a(t - t')]$ à 800° est environ quatre fois plus grand qu'après le refroidissement.

D'autre part comme les vitesses d'écoulement dans les tuyaux sont en raison inverse des racines carrées des densités, et que à poids égal

les densités sont inverses des volumes pour les gaz qui suivent la loi de Mariotte, on pourra admettre une vitesse relative dans les tuyaux à la sortie et après refroidissement proportionnelle à $\sqrt{V} : \sqrt{v}$, soit ici comme 2 : 1.

D'où il résulte que le tuyau à la sortie du four jusqu'au refroidisseur doit être d'une section au moins double de celle du tuyau après refroidissement

Fréquemment nous avons vu le tuyau de même diamètre sur toute sa longueur, ce qui est une erreur et cause des pertes de charge telles à la sortie que l'on est obligé de faire tourner la pompe trop vite pour activer le four. Ou bien si la pompe marche à sa vitesse il y a des soubresauts dans l'aspiration qui causent des alternatives d'aspiration et de refoulement dans le four, très préjudiciables à sa bonne marche. Une tuyauterie bien entendue corrige souvent beaucoup d'anomalies dans la marche des fours.

Le calcul de la tuyauterie dépendant de sa longueur parfois très grande, et du nombre de coudes qu'elle fait, il est impossible d'en donner ici un aperçu. On trouvera des formules d'écoulement du gaz et des vapeurs dans notre article *évaporation*. Il faudra seulement faire attention à ce que les gaz doivent arriver avec faible vitesse dans la pompe. On pourra tenir compte aussi de la densité du gaz assez considérable, dans le cas où le tuyau ferait siphon, pour éviter de ce fait des pertes de charge sur la pompe.

Enfin il faut dans l'installation tenir compte de la dilatation de ces longs tuyaux en intercalant des soufflets dans les parties droites, surtout entre le four et le laveur.

§ 5. — Machine à gaz.

La machine à gaz (fig. 98, 99 et 100) est une pompe aspirante et foulante P, de grand diamètre, calculable d'ailleurs d'après la quantité de gaz à fournir.

Cette pompe n'a pas de clapets; ce sont des tiroirs, découvrant des lumières longues et étroites qui ouvrent et ferment l'entrée et la sortie du gaz.

En général, la pompe est actionnée directement par un cylindre à vapeur monté sur le même bâti.

Les figures ci-contre représentent une machine à gaz de la construction Mariolle-Pinguet, de Saint-Quentin.

Le mouvement de la machine à gaz doit être lent et régulier, car c'est

d'elle que dépend la bonne marche du four. On ne doit l'arrêter que strictement pour le temps nécessaire au graissage. Nous avons vu en effet, précédemment, les fours à gazogène réclamer de la pompe à gaz une extraction *exactement* calculée. Autrefois on n'y regardait pas de si près, et les pompes à gaz tournaient un peu comme elles voulaient, même profitait-on de ses volants pour faire tourner des transmissions, et l'on regardait plus à la vitesse de la transmission qu'au débit du four.

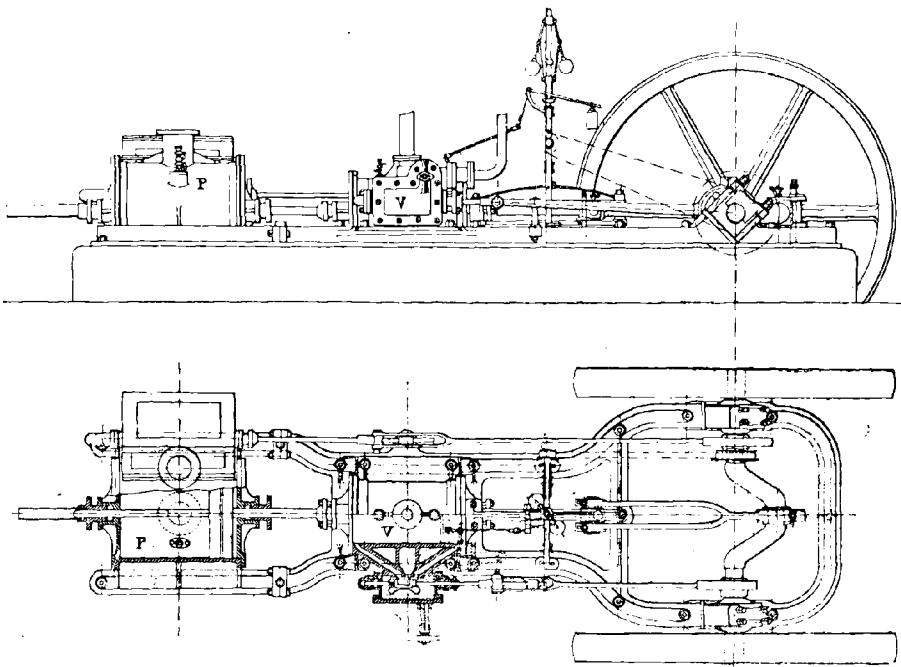


Fig. 98-99.

Aujourd'hui la pompe à gaz doit être munie d'un moteur plutôt perfectionné, avec régulateur marchant bien, de manière à ce que le nombre de tours des volants soit parfaitement constant, et l'on s'en trouvera bien quel que soit le four auquel est attelée la pompe.

La pompe elle-même doit être étudiée de manière à éviter les espaces nuisibles qui font une contre-pression dans le four à chaque fois que le piston arrive à fin de course et que la lumière se découvre. Une pompe à gaz doit être aussi bien étudiée qu'une pompe à air sèche. Ce sont des conditions nouvelles qui sont nées avec le perfectionnement croissant des méthodes de travail.

Lorsque la carbonatation s'arrête, la pompe marchant toujours, le tuyau de gaz carbonique doit être muni d'une soupape de sûreté échappant le gaz sur le toit. Ordinairement ces soupapes sont formées d'un

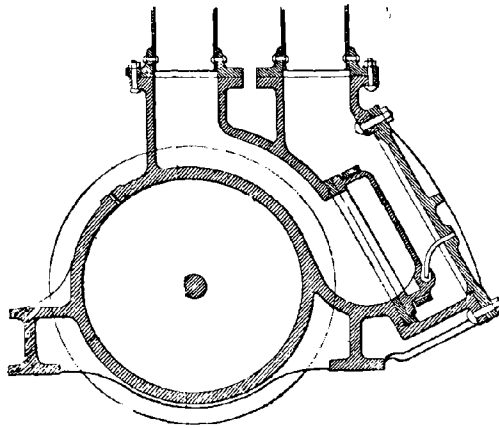


Fig. 4C0.

simple clapet parfois à charnière, lourdement chargé. Cela n'a pas d'importance pourvu que le clapet soit étanche. Seulement à notre avis une soupape plus perfectionnée serait préférable pour éviter le bruit désagréable de cet engin primitif.

LIVRE SEPTIÈME

APPAREILS D'ÉVAPORATION

CHAPITRE PREMIER

ÉVAPORATION

§ 1. — Avant-propos.

L'étude que j'ai publiée en 1882, à cette même place, sur les appareils d'évaporation, était l'expression de mes connaissances d'alors, appuyées sur les travaux peu nombreux des ingénieurs qui s'étaient occupés de la question avant moi, et sur les miens propres.

Depuis cette époque je n'ai pas déceissé d'étudier cette intéressante question à laquelle j'ai fait faire le plus de progrès possibles, et c'est l'ensemble des résultats obtenus dans mes recherches que je vais consigner ici.

Je ferai remarquer auparavant que la question de l'évaporation n'avait jamais été étudiée à fond par les différents auteurs qui s'y étaient fort peu attachés du reste et qui n'avaient même fait qu'effleurer le sujet ; que les quelques documents épars que l'on rencontrait dans la littérature scientifique ne donnaient que des renseignements qui semblaient de prime abord tout à fait contradictoires, et dont il était impossible de tirer un enseignement utile ; que par conséquent j'ai dû créer de toute pièce une théorie qui répondit aux données de la pratique journalière.

Je suis enfin parvenu à établir des formules qui permettent de calculer avec une approximation suffisante les différents éléments d'un appareil d'évaporation ou de condensation à surface quelconque, résultat pratique vers lequel ont tendu tous mes efforts depuis 1868, aurore de mes premières recherches, jusqu'à l'époque actuelle.

§ 2. — Historique.

Il y a à peine quarante ans la fabrication du sucre de betterave ne représentait guère en France que la dixième partie de ce qu'elle est

aujourd'hui. Les procédés d'épuration et de concentration du jus obtenu par la pression des racines râpées, calqués sur ceux que l'on employait dans les colonies pour l'extraction du sucre de la canne, n'étaient ni économiques, ni favorables à la perfection des produits que l'on retirait de la betterave.

On consommait alors environ 350 kilos de charbon par 1.000 kilos de racines; l'évaporation se faisait à feu nu dans des bassines le plus généralement, quoique déjà l'usage de la vapeur commençât à prendre une assez grande extension. En effet de 1828 à 1829 Moulfarine et Pecqueur, les deux principaux constructeurs de machines à sucre de Paris, avaient imaginé des appareils évaporatoires à air libre, composés de tuyaux disposés en forme de grille dans lesquels circulait la vapeur au fond d'une bassine peu profonde, et qui avaient un rendement supérieur aux chaudières à double fond.

On possédait aussi les chaudières à cuire dans le vide inventées en Angleterre par Howard, bassine à double-fond surmontée d'un dôme; le tuyau de dégagement des vapeurs s'ouvrait dans un espace où la condensation s'opérait sous l'action d'une injection d'eau. Une pompe à air entretenait le vide dans l'appareil. On avait ainsi un vide correspondant à une colonne de 50 centimètres de mercure. Cet appareil s'était répandu assez vite dans les colonies, mais les fabricants français le trouvaient trop compliqué et ne l'acceptaient qu'avec peine.

C'est à ce moment, en 1830, que Rillieux qui habitait alors Paris, imagina ses appareils à effets multiples opérant dans le vide. On se faisait alors une idée très fautive de l'action de la vapeur sur le sucre. On se figurait que le feu nu seul était capable de le brûler, et qu'il suffirait d'employer de la vapeur pour éviter cet inconvénient. Chacun sait aujourd'hui au contraire combien la vapeur à haute pression caramélise facilement le sucre, et l'expérience a dû coûter cher à beaucoup d'entre ceux qui employèrent les appareils Moulfarine et Pecqueur.

La caramélisation du sucre par la vapeur n'avait pas échappé à la sagacité de Rillieux, qui imagina alors de faire l'évaporation entière dans le vide, abaissant ainsi le point d'ébullition du liquide, et le soustrayant aux influences pernicieuses d'une haute élévation de température.

Mais nous n'étonnerons personne en disant, qu'avec les idées reçues à cette époque, les propositions de Rillieux eurent peu d'écho, surtout auprès de Moulfarine et Pecqueur auxquels il proposa ses appareils, eux qui prônaient l'usage de la vapeur directe! Aussi Rillieux ne pouvant les convaincre, et trouvant une belle occasion de retourner en Amérique où il lui était proposé une position bien rétribuée, avec l'espoir surtout

de pouvoir appliquer ses nouveaux appareils, partit emportant avec lui son invention qui ne devait nous revenir que plus de vingt ans après, mais dans des conditions malheureusement déplorables.

Une des objections que l'on faisait à ses appareils était leur grande complication, lorsque déjà ceux d'Howard avaient tant de peine à pénétrer chez nous. Aussi pendant les vingt-deux ans qui s'écoulèrent entre le départ de Rillieux et l'apparition de son appareil en France, les ingénieurs français ne firent-ils aucun progrès dans la question de l'évaporation économique des jus, tournant toujours dans le même cercle autour de la chaudière d'Howard. La pompe à air semblait aux fabricants et aux raffineurs de ce temps une machine tout à fait impossible à adopter dans la pratique. Alors Roth chercha à la remplacer par la condensation de la vapeur sous l'action d'une grande quantité d'eau, dans un grand réservoir dans lequel on faisait de temps en temps le vide. Mais l'appareil de Roth consommait plus de vapeur que celui d'Howard. Cependant il amena un bon résultat. Les raffineurs et fabricants de sucre qui étaient très opposés à l'introduction des machines à vapeur dans leurs établissements adoptèrent son invention, ce qui était un premier acheminement du côté du perfectionnement mécanique. En effet, bientôt Degrand remplaça le condenseur de Roth par un long tuyau en forme de serpent. Plus tard, lorsque Derosne construisit l'appareil Degrand, le serpent prit la forme d'une grille placée de champ, les barreaux étant horizontaux. La condensation de la vapeur dans les serpentins était produite par le refroidissement provenant de la chute du jus à évaporer tout le long de la grille, en sorte que ce jus commençait ainsi sa concentration, ce qui diminuait considérablement le travail de la cuite. L'appareil Degrand réalisait déjà une grande économie sur le combustible qu'il abaissait à 200 ou 250 grammes par 1.000 kilos de betteraves. Malheureusement cette concentration lente en plein air sur des tuyaux très chauds produisait une telle altération sur les jus qu'on dut bientôt y renoncer, et que l'on adopta définitivement les condenseurs à colonne ordinaire avec grande pompe à air pour effectuer le vide dans les chaudières closes.

L'opinion publique était donc mûre pour recevoir les appareils à effets multiples de Rillieux, puisque les pompes à air, les injections d'eau, les vides élevés entraient déjà dans la pratique. C'est alors, en 1852, qu'un allemand, nommé Brami Andrœa, envoya d'Amérique des plans calqués sur ceux d'un appareil Rillieux au constructeur allemand Tischbein, à qui Cail les acheta. On essaya donc de construire des machines d'après ces plans, mais on ne put les faire fonctionner ! Alors on les tronqua, les arrangeant d'après des principes faux, sans calcul et sans idée nette de

la chose, et l'on en fit, au bout de plus de 15 années d'essai, le triple-effet que l'on voit aujourd'hui dans nos sucreries françaises. Mais, si incomplet qu'il pût être, le triple-effet n'en transforma pas moins l'industrie du sucre de betterave, réduisant à 100 kilos la consommation du charbon. Dès lors de nombreuses fabriques se transformèrent ou s'élevèrent avec un outillage complètement nouveau, des procédés d'épuration plus parfaits et un entrain que favorisait la législation, mais qui s'arrêta lorsque la production et les impôts exagérés, ainsi que les lois protectionnistes des autres pays, produisirent la grande crise sucrière dont nous souffrons encore aujourd'hui.

Nous allons passer maintenant à l'étude même des principes sur lesquels marchent les appareils à effets multiples.

Il n'existe nulle part de calcul sur les appareils à effets multiples. En 1869, sur l'invitation de Cail qui comprenait. « Avec son gros bon sens » comme il le disait, qu'il était nécessaire d'éclairer la construction des appareils à triple-effet par les études théoriques qui n'avaient jamais été refaites depuis leur invention, nous entreprîmes les études suivantes. Elles ne servirent malheureusement pas à grand'chose, la guerre qui arrêta tout ayant interrompu également nos travaux. Elles eurent seulement pour résultat de nous permettre de comprendre Rillieux, lorsque plus tard il nous exposa tout le côté défectueux de la constitution des appareils, résultat que nous nous estimons fort heureux d'avoir obtenu.

§ 3. — Appareils à effets multiples.

On appelle appareils à effets multiples, des appareils composés d'une série de chaudières telles que la vapeur produite dans la première par l'action d'une source de chaleur quelconque chauffe la seconde, la vapeur de la seconde chauffe la troisième, et ainsi de suite jusqu'à la dernière.

On a imaginé et fait breveter sur ce principe beaucoup de dispositions, entr'autres les divers appareils de Pecqueur de 1829 à 1834 dans lesquels la dernière chaudière bouillait à air libre, et la première était un générateur à haute pression. De la sorte, avec une seule source de chaleur, on produit théoriquement l'évaporation d'autant de fois la quantité du liquide évaporé dans la première chaudière qu'il y a de chaudières successives.

Ces appareils qui peuvent être utilisés économiquement chaque fois que l'on opère sur des liquides pouvant être portés à de hautes températures sans crainte d'altération, ne peuvent être employés en sucrerie dont les jus se caramélisent à des températures relativement basses.

Aussi l'appareil à cuire d'Howard, se répandit-il avec succès dans les colonies, et plus tard en France, parce qu'il avait moins d'influence pernicieuse sur le sucre que les bassines à serpentins chauffées par la vapeur directe de Moulfarine et de Pecqueur.

C'est alors que Rillieux eut l'idée d'appliquer les effets multiples aux appareils à basse pression, de la manière décrite dans ses brevets de 1845. Ces brevets furent dans le domaine public, pour tous les pays autres que l'Amérique, depuis 1848, époque à laquelle Rillieux les fit publier dans le *Patent office report*.

Nous allons donc étudier le principe de ces appareils, en commençant par l'appareil à triple-effet, qui est le plus généralement répandu dans l'industrie sucrière.

PRINCIPES GÉNÉRAUX

L'évaporation du jus se fait exclusivement aujourd'hui dans le vide, au moyen des appareils à effets multiples, inventés en 1830 par Rillieux.

La marche de ces appareils est basée sur la faible température à laquelle bout un liquide sous une pression moindre que celle de l'atmosphère. En effet Dalton a énoncé la loi suivante : *La force élastique de la vapeur pendant l'ébullition est égale à la pression extérieure*. C'est sur ce principe que se fonde l'énorme puissance des machines à vapeur, en même temps que le pouvoir évaporatoire considérable des appareils à effets multiples. Car si l'on fait varier la pression à la surface d'un liquide, soit en augmentant celle de l'atmosphère, en confinant la vapeur produite par le chauffage dans un espace restreint, comme dans les générateurs, soit en la diminuant en faisant le vide dans une chaudière close, la force élastique ou *tension* de la vapeur d'ébullition variera dans de grandes limites. L'eau bouera à 182° pour une pression de 10 atmosphères et à 66° seulement pour celle d'un quart d'atmosphère. On comprend donc que, dans les chaudières closes, s'il n'est plus besoin que d'élever l'eau par exemple à 66° pour la faire bouillir, on produira facilement cet effet avec de la vapeur à basse température, et que l'on emploiera d'ailleurs moins de vapeur que s'il s'agissait de porter cette eau à 100°. Gay-Lussac a donné un tableau indiquant les tensions, en hauteurs de mercure, de la vapeur d'eau, et les températures correspondantes pour les pressions au-dessous de celles de l'atmosphère. Regnault l'a revu et modifié, et nous le donnons à la fin de cet ouvrage.

Ces principes étant connus, nous allons voir comment fonctionnent

les appareils à effets multiples, et pour cela nous ne pouvons mieux faire que de décrire la marche des appareils originaux de Rillieux. B. Dureau a publié en 1851-1852 une notice sur ces appareils qu'il avait fait fonctionner lui-même à la Louisiane, et nous lui empruntons ce qui suit :

« L'appareil Rillieux est basé sur l'emploi de la chaleur latente contenue dans la vapeur qui s'échappe du jus de canne (ou de betterave) pour la concentration et la cuisson dans le vide du sirop provenant de ce même jus, utilisant ainsi une quantité considérable de calorique qui, dans les chaudières à air libre, se perd complètement ou n'est employé que d'une manière imparfaite, et sous la pression de l'atmosphère, comme l'appareil Degrand

« L'appareil Rillieux se compose de trois ou quatre chaudières cylindriques en tôle de dix pieds (anglais) de longueur sur trois et demi de diamètre, disposés de front et parallèlement, et supportées sur des colonnes en fonte placées à chaque extrémité et dans l'intérieur desquelles circule la vapeur qui passe d'une chaudière dans les autres au moyen d'un système de valves et de tuyaux. Un dôme surmonte chacune de ces chaudières, qui a un peu l'apparence d'un générateur de locomotive et dont l'ensemble est assez imposant.

« *Description de l'appareil à quatre chaudières, ABCD.* — (Fig. 101 et 102). Le jus en sortant des filtres, coule dans un réservoir en fer, d'où il est pompé et refoulé dans la première chaudière A, au moyen d'un tuyau qui vient faire sa jonction dans la partie postérieure de la chaudière. Ce tuyau est muni d'un robinet régulateur qu'on ouvre ou ferme à volonté au moyen d'une manivelle placée en avant de l'appareil où le cuiseur est placé; en tournant cette manivelle plus ou moins il peut régler l'alimentation de cette chaudière. Sur le devant de la même chaudière est un autre tuyau qui conduit le jus à l'arrière de la seconde chaudière B; sur ce tuyau et sous la seconde chaudière se trouve également un robinet régulateur et d'arrêt qu'on manœuvre au moyen d'une manivelle; un second tuyau conduit à la partie postérieure de la chaudière C le jus qui a déjà atteint la densité de 15° Baumé; enfin de la chaudière C un autre tuyau, muni aussi, lui, d'un robinet régulateur, se dirige vers une pompe, laquelle refoule le sirop, qui pèse maintenant 28°, dans deux réchauffoirs. Dans ces réchauffoirs qui sont chauffés à l'aide de serpents, le sirop est amené au point d'ébullition, puis écumé avec soin; de là il passe une seconde fois à travers les filtres à noir en grain, coule dans un réservoir spécial pour alimenter la quatrième chaudière D qui est la chaudière à cuire.

« Nous allons suivre maintenant la marche de la vapeur.

« La vapeur d'échappement de la machine se rend à la première chaudière par la colonne *l*. Au-dessous est un tuyau qui amène la vapeur directe des générateurs, en cas qu'il soit nécessaire d'en employer ; une valve met en communication les deux tuyaux de vapeur pour suppléer à la vapeur d'échappement si celle-ci était en quantité insuffisante pour la concentration du jus.

« La vapeur qui provient de l'évaporation du jus dans la chaudière A descend dans le tuyau *h*, dans la colonne *i*, puis dans la boîte en fonte *k*. Une portion de cette vapeur remonte dans la colonne *l'* pour alimenter la seconde chaudière B ; une autre portion passe à travers un tuyau

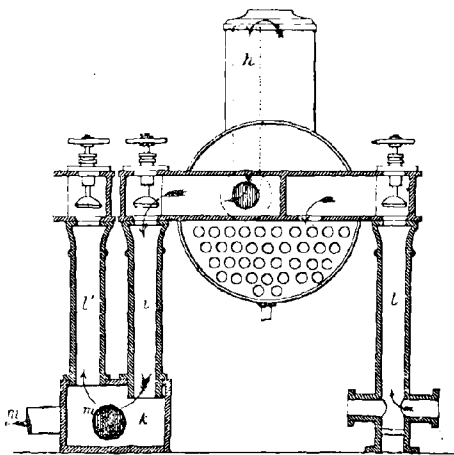


Fig. 401

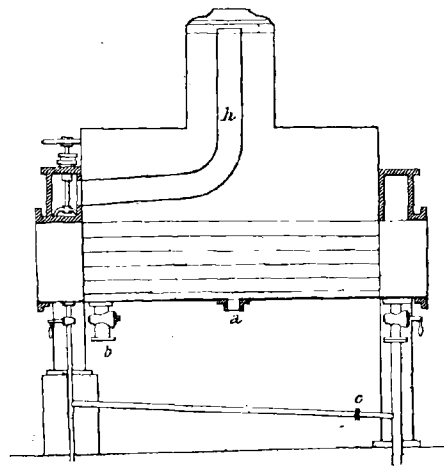


Fig. 402

horizontal *m m*, puis dans la colonne *l'''* pour alimenter la chaudière à cuire D.

« La vapeur qui provient de la seconde chaudière B passe dans la colonne *i'*, dans la boîte *K'* et remonte dans la colonne *l''* pour faire bouillir la chaudière C. Les vapeurs de C et de D passent par les colonnes *i''* et *i'''* se réunissent dans un tuyau horizontal et se rendent au condenseur, où elle est condensée par les moyens ordinaires, c'est-à-dire à l'aide d'un jet d'eau. Le vide est maintenu au moyen d'une pompe à air d'une grande puissance.

« L'eau de condensation de la chaudière A s'écoule par un tuyau *c* dans une boîte en fonte située sur la plaque de fondation de la machine ; de là une pompe alimentaire l'enlève et la retourne dans les générateurs.

« L'eau de condensation de la seconde et de la troisième chaudière et de la quatrième, qui n'est autre que la vapeur condensée du jus, découle dans un tuyau spécial, muni d'embranchements et de valves régulatrices pour aller à une petite pompe à air, laquelle la refoule dans un réservoir d'où elle se distribue pour divers usages ».

On voit, d'après cette description, que l'appareil Rillieux à quatre chaudières est un appareil à triple-effet d'évaporation. La quatrième chaudière sert à la cuite et est chauffée par une portion de la vapeur de la première caisse, c'est donc de la cuite à double-effet.

Vient ensuite la description de l'appareil Rillieux à trois chaudières, qui est un appareil à double-effet d'évaporation et double-effet de cuite. C'est le même appareil que le précédent dans lequel on aurait supprimé, par exemple, la seconde chaudière. Enfin l'auteur fait les observations suivantes :

« Il peut arriver que le jus manque ou que l'évaporation soit très rapide, dans ce cas il faut arrêter la marche des deux premières chaudières en fermant toutes les valves et supprimant la vapeur ; mais pour ne pas perdre le bénéfice de l'échappement des machines, on dirige cette vapeur tout entière sur la chaudière à cuire, ce qui accélère singulièrement l'évaporation du sirop

« La première chaudière de l'appareil Rillieux peut être considérée comme le générateur des deux autres ; il arrive par conséquent, comme dans tout générateur, que la pression est variable, et que, selon la densité du jus ou la vapeur d'échappement, elle est plus ou moins forte ; il y a quelquefois $1/8$ ou $1/10$ d'atmosphère de pression dans la première chaudière comme quelquefois il y a vide. Pour éviter que la pression soit trop forte, la première chaudière est munie d'une soupape de sûreté à ressort

« L'appareil Rillieux se prête admirablement à la *cuite en grain* et les résultats qu'on obtient à l'aide de cet appareil sont des plus remarquables ; c'est avec l'appareil Rillieux qu'on fait de premier jet ces beaux sucres en grain à large cristaux, à facettes brillantes qui font l'admiration de tous ceux qui visitent les sucreries de la Louisiane.

« L'appareil Rillieux est tout en tôle ; ce n'est pas d'un grand inconvénient, attendu qu'il marche continuellement et qu'il n'a pas le temps de s'oxyder. Chaque chaudière, au reste, est munie d'un robinet dégraisseur qui permet d'y injecter de la vapeur en cas de besoin ».

On voit donc, d'après cette description, que la vapeur d'échappement des machines, dans les appareils à effets multiples, chauffe la première caisse ; que la vapeur formée dans la première caisse chauffe la seconde, celle de la seconde chauffe la troisième. On voit aussi que le vide est

obtenu dans la troisième caisse par la condensation de la vapeur au moyen d'une injection d'eau, que sous l'influence de ce vide le liquide entre en ébullition à une basse température, empruntant la chaleur nécessaire à la vapeur de la caisse précédente qui se condense également, provoquant un vide relatif dans la seconde caisse ; le vide se produit de la même manière dans la première caisse. Ainsi l'on chauffe une caisse, et cela suffit pour en faire bouillir trois, en sorte que, théoriquement, un kilogramme de vapeur suffit pour évaporer trois kilogrammes d'eau, c'est pourquoi l'appareil a été appelé appareil à triple-effet ; nous voyons aussi que dans l'appareil Rillieux une portion de la vapeur de la première caisse sert à faire bouillir la chaudière à cuire qui fonctionne alors à double-effet.

La cuite à effet multiple n'a pas été appliquée en Europe pour des causes que nous expliquerons plus tard, et c'est au grand détriment de la fabrication du sucre. On n'aurait dû jamais changer le principe du fonctionnement de l'appareil Rillieux, sinon sa forme, d'autant plus qu'on n'a rien amélioré, et qu'au contraire les appareils nouveaux furent bien inférieurs comme rendement aux appareils de Rillieux.

Rillieux construisit des appareils à double-effet pour l'île de Cuba où le vesou est très dense et la bagasse très sèche, et des triple-effets pour la Louisiane, parce que les vesous sont plus étendus, les bagasses plus humides et moins bonnes comme combustible. Ces appareils suffirent partout pour que l'usine n'ait jamais besoin d'utiliser d'autre combustible que la bagasse, encore même en restait-il après la fabrication.

Ce sont ces appareils qui sont décrits dans le « *Patent office Report* » de 1848. Ce sont aussi ces appareils dont les plans arrivèrent entre les mains de Tischbein, puis de Cail. Mais ceux-ci ne comprirent pas que la dernière chaudière était la chaudière à cuire, et, voyant un appareil à double-effet avec cuite à double-effet, ils crurent avoir sous les yeux un double-effet à trois chaudières, et c'est de là qu'ils partirent pour construire des double-effets composés d'une chaudière centrale flanquée de deux petites chaudières latérales, comme furent exécutés les premiers appareils. Mais aussi se crurent-ils fondés à dire que Rillieux s'était trompé en appelant triple-effets les double-effets à trois chaudières. Or, Rillieux n'a jamais rien écrit ni rien dit à ce sujet. Voici en effet ce que disent les principaux auteurs qui se sont occupés de ce genre d'appareil.

Payen dans son *Traité de chimie industrielle* (5^e édition, 2^e vol., page 256), dit : « MM. Cail et C^{ie} en perfectionnant un appareil employé d'abord par Rillieux en Amérique, ont réuni les avantages de leur premier appareil à double-effet, à celui que nous venons de décrire, en rendant l'opération plus économique encore ».

Péclet dans son *Traité de la chaleur* (3^e édition, 2^e vol., page 243) après avoir donné le dessin d'un agencement théorique de laboratoire, très défectueux d'ailleurs, qu'il dit propre à l'évaporation des jus sucrés dans le vide (dans sa première édition, il n'en était pas encore question, les appareils Rillieux n'étant pas encore connus), prétend que ce triple-effet peut fonctionner en faisant le vide *une ou deux fois par jour*. Puis, page 246, il dit : « Le principe des distillations et des évaporations successives en employant la même chaleur paraît avoir été établi pour la première fois en 1834, par Pecqueur. Plus tard, des appareils ont été construits sur les mêmes principes dans les divers pays manufacturiers, notamment en Amérique par Rillieux en 1843 ». Puis vient la description et la figure de l'appareil à quintuple-effet de Pecqueur, appareil dont la cinquième chaudière était à air libre, par conséquent où le sirop aurait bouilli de 101° à 128° et, de plus, chauffé par de la vapeur à 132°. Des jus exposés à de telles températures ne donneraient que du caramel, et le fait est que ce quintuple-effet breveté en 1834, et dont le principe était connu bien avant, succomba presque en naissant. Mais il y a loin de l'évaporation à effet multiple à air libre, qui n'est pas pratique, à l'évaporation à effet multiple *dans le vide*, qui fit l'objet du brevet Rillieux, et qui présente les conditions indispensables pour obtenir une évaporation rapide et à température assez basse pour que le sucre ne soit pas caramélisé. C'est ce que ne semble pas comprendre Péclet. Enfin, les essais de Rillieux datent de 1835, 1842 et 1843, et non de 1845.

Plus loin, page 247, Péclet décrit un appareil proposé, dit-il, en 1849, par Pecqueur et représenté dans la figure 237. C'est un agencement peu pratique des premiers dispositifs que Rillieux avait essayés en 1843, aux Etats-Unis. A la page 251, Péclet donne la description des appareils Rillieux, et il dit ensuite : « Quant à la marche des opérations, les brevets de Pecqueur ne renferment que des idées parfaitement justes ; mais il n'en est pas de même de ceux qui ont été pris depuis. Rillieux avait admis que les surfaces de condensation de la vapeur devaient augmenter rapidement à mesure que l'on s'éloignait de la première chaudière. Son appareil était composé de trois chaudières, et les vapeurs produites dans la première se condensaient à la fois dans les deux autres, effet qui ne pouvait évidemment avoir lieu qu'autant que les liquides des deux chaudières pouvaient entrer en ébullition à la même température, et cependant Rillieux y plaçait des liquides de densités différentes. D'après cela l'appareil n'était réellement qu'à double-effet, et seulement à triple-effet en alimentant la première chaudière avec la vapeur sortant d'une machine à haute pression sans condensation et en comptant l'effet de la vapeur produite par la machine ». Puis plus loin : « Enfin les deux der-

nières chaudières communiquant avec la pompe à air par le même tuyau, il s'y produit nécessairement la même détente et les liquides ne peuvent y entrer en ébullition qu'à la même température et à la condition d'avoir le même degré de concentration ; cependant d'après la description, la seconde chaudière pourrait concentrer le sirop jusqu'à 23° et la troisième l'amener de 25° au point de cuite. Il résulte évidemment de ce que je viens de dire que Rillieux, l'inventeur de l'appareil, ne s'est pas complètement rendu compte des phénomènes physiques qui s'y produisent ». Puis il ajoute qu'il lui semble que Pecqueur soit le premier qui ait établi les vrais principes de l'évaporation à effet multiple, et qui en ait fait le premier l'application.

Il résulte de tout ceci que Pécelet, comme Cail et C^{ie}, a confondu les double-effets avec les triple-effets, n'ayant eu la description que des premiers auxquels on avait donné la dénomination des seconds. Ensuite il accuse Rillieux de n'avoir pas bien compris le jeu de sa machine, tandis que c'est lui-même qui ne se rendait pas un compte exact du jeu de la vapeur dans les chaudières. Il ne voyait pas que la première chaudière était un générateur de vapeur dont la température était suffisamment élevée pour faire bouillir la chaudière à cuire en même temps que le reste de l'appareil, et, comme malheureusement il ne s'est pas donné la peine de s'enquérir aux Etats-Unis ou bien à Cuba ou au Mexique, si oui ou non les appareils marchaient comme l'indiquait leur auteur, il s'est exposé à énoncer de grosses inexactitudes démenties par les faits.

Enfin, il fait des erreurs de date dans les brevets de Rillieux et de Pecqueur, les brevets de ce dernier étant postérieurs à ceux de Rillieux. Nous ne parlons pas ici de l'appareil à quintuple-effet à air libre, qui n'a rien à faire avec les appareils dans le vide.

Walkhoff, dans son *Traité de fabrication de sucre* (2^e édition, p. 233), en parlant des condenseurs de Degrand et autres semblables, dit « Malheureusement le contact de l'air expose les dissolutions sucrées à des altérations, et ce motif a fait rejeter de la pratique tous les appareils fondés sur ce principe. C'est à ce moment que Rillieux eut l'heureuse idée, qu'il appliqua d'abord en Amérique, d'employer les vapeurs des jus pour évaporer de nouveaux liquides dans le vide ». Puis suit la description des appareils Rillieux ; il critique la disposition des tuyaux, croyant pouvoir dire que la vapeur s'y distribue irrégulièrement, que l'expulsion de l'air en est difficile, qu'il s'accumule dans un certain nombre de tuyaux qui dès lors sont perdus pour l'action de la vapeur. Enfin il suppose que les dilatations inégales du système peuvent faire perdre aux joints leur étanchéité, et il ajoute qu'il croit les nettoyages difficiles, obligeant l'emploi des acides, « remède fâcheux et

devant lequel on recule, par suite de l'action nuisible qu'exercent les acides sur le sucre ».

A toutes ces objections il n'y a à répondre que par les faits. A la Louisiane, on nettoie les appareils après chaque récolte, à l'île à Cuba on les nettoie une fois au milieu de la récolte, et à la fin. Quant à l'emploi de l'acide, chacun sait aujourd'hui qu'il n'offre aucun inconvénient, en procédant ensuite à un lavage soigné à grande eau. Cependant, après sept ans d'usage, la construction des tubes a été modifiée de manière à pouvoir être retirés de la chaudière pour le nettoyage. Mais il n'y a jamais eu de fuite dans les joints. Quant à l'air que contiennent les appareils dans lesquels il y a un courant continu, comme dans une locomotive, il ne séjourne pas comme le suppose Walkhoff, il se mélange uniformément à la vapeur, et la moindre quantité d'air mêlée à la vapeur, quoi qu'en dise Maumené dans son *Traité de fabrication de sucre*, diminue énormément la vitesse de transmission de la chaleur à travers la surface chauffée. C'est ainsi, par exemple, que dans une chaudière à vapeur tubulaire dont la flamme contient beaucoup d'air, la température de la flamme étant à 1.500° la fumée à 350° dans la cheminée, donnant une pression intérieure de 8 atmosphères, le générateur a une chute moyenne de 755°, et ne transmet pas plus de chaleur à travers la surface de chauffe que si dans ses tuyaux circulait de la vapeur possédant une chute de 15 à 17°.

Enfin, à la suite des observations précédentes, Walkhoff, reprenant ce que dit Pécelet sur l'accroissement proportionnel des surfaces, et attribuant les suppositions du physicien à Rillieux, conclut encore à une erreur de la part de Rillieux. Comme, en ne discutant pas les écrits de Pécelet, tous les faiseurs de livres qui copient leurs prédécesseurs sans calculer et sans se rendre compte, se fiant à la renommée de l'auteur qu'ils imitent, reproduiraient indéfiniment les erreurs dont nous venons de parler, nous avons cru de notre devoir de les relever, tout en déplorant qu'un homme aussi savant que Pécelet, dont le livre est un des rares ouvrages d'un mérite et d'une utilité incontestables dans la science, n'ait pas recherché plus loin que les essais exécutés chez Cail pour se rendre compte de la marche d'un appareil aussi complexe que celui de Rillieux.

Nous ne nous étendrons pas plus longuement sur l'appareil original de Rillieux. Les calculs qui vont suivre se rapportant aussi bien aux appareils Rillieux qu'à tout autre, nous commencerons l'étude des appareils en général par celle du triple-effet, et nous étudierons ensuite les appareils avec chauffage à effets multiples, ce qui complétera l'histoire des appareils Rillieux.

§ 4. — Étude de la vapeur

L'évaporation d'un liquide par la vapeur se compose de quatre phases distinctes et successives. 1° La condensation de la vapeur sur la paroi de chauffage, 2° la transmission de la chaleur à travers cette paroi, 3° la réception du calorique par le liquide en ébullition, 4° la vaporisation du liquide en ébullition.

Ces quatre phases du travail feront l'objet de quatre groupes de formules différentes qui, coordonnées et soudées ensemble établiront la formule définitive de l'évaporation.

Nous allons avant tout jeter un coup d'œil sur la nature et la composition de la vapeur qui se forme dans les appareils et qui se condense sur les parois tubulaires de la caisse suivante, confondant un peu par conséquent la première et la quatrième phase de l'évaporation, cette étude devant nous montrer les difficultés pratiques qui empêchent l'application immédiate et sans réserve des formules théoriques que nous établirons plus loin, ces formules ne s'appliquant exactement qu'à la vapeur saturée sèche normale.

A côté de ce travail d'ensemble se grefferont les questions d'établissement des appareils, calculs des différents éléments qui les composent, de manière à pouvoir édifier dans les meilleures conditions possibles un système évaporatoire complet, ou un condenseur à surface, ou bien un réchauffeur, dans quelque condition industrielle que l'on veuille se placer.

Formules générales. — Rappelons ici les principes généraux de la constitution de la vapeur en appuyant un peu sur la théorie mécanique de la chaleur dont nous ferons de temps en temps usage.

Quand on transforme un liquide en vapeur, on sait que le phénomène est accompli suivant trois phases distinctes. Il faut d'abord échauffer le liquide pour lui communiquer la température d'ébullition T , d'un nombre de calories L qui est fonction de la chaleur spécifique du liquide. Ensuite il faut lui fournir un certain nombre de calories internes V , dites *chaleur latente intérieure* ou simplement *chaleur interne* et qui correspond au travail d'attraction des molécules aqueuses et qui est fonction de A . Enfin il faut lui apporter le nombre de calories nécessaires pour le *travail* de la vaporisation, dit *chaleur latente extérieure* qui représente la quantité de chaleur convertie en travail mécanique externe pour la transformation de l'eau en vapeur, et que l'on appelle aussi *travail* de la vapeur en *pleine pression*. On les désigne par la formule Apu , p étant la pression et u le volume de vapeur sous l'unité de poids.

La somme de ces trois quantités donne la chaleur totale de vaporisation λ .

$$\lambda = L + U + A p u$$

La somme des chaleurs latentes intérieures et extérieures donne ce que l'on nomme vulgairement la *chaleur latente* r de la vapeur, ou bien sa chaleur de vaporisation.

$$r = U + A p u$$

Régnauld a donné, pour exprimer la quantité de chaleur totale nécessaire à la transformation de 1 kilogramme de liquide à 0° en vapeur à t° , la formule suivante qui est fondamentale :

$$\lambda = a + b t$$

ou, en remplaçant les lettres par leur valeur pour la vapeur d'eau :

$$\lambda = 606,5 + 0,305 t$$

D'autre part la chaleur latente r est exprimée par la formule :

$$r = 606,5 - 0,695 t - 0,00002 t^2 - 0,0000003 t^3$$

Enfin, la quantité de chaleur L nécessaire pour porter 1 kilogramme d'eau en contact avec sa vapeur de 0 à t° est égale à :

$$L = t + 0,00002 t^2 + 0,0000003 t^3$$

Si l'on remarque que $v = \lambda - L$ on voit comment a été formée cette valeur de r .

Enfin, la chaleur interne U a été déterminée par Zeuner par la formule :

$$U = 575,03 - 0,7882 t$$

Grâce à ces formules on a formé des tableaux indiquant toutes les données de la vapeur aux différentes températures, et que l'on consulte chaque fois que l'on fait un calcul sur les vapeurs, sans avoir besoin de faire à chaque fois la détermination fastidieuse de ces valeurs.

Les tables de Zeuner et similaires ne sont pas autre chose.

Vapeur saturée. — Lorsque la vapeur se forme au contact du liquide qui la produit, à une température constante et sous pression constante, elle est dite *saturée* ou à son maximum de densité.

Un changement dans la température amène un changement dans la pression égal à celui qui correspondrait à l'état de saturation de cette vapeur à la température nouvelle et réciproquement.

Les changements dans la pression existant dans les appareils d'évaporation sont assez fréquents. Au moment où la pression augmente, on peut voir l'ébullition s'arrêter et un nuage apparaître dans la chaudière. C'est la vapeur qui se condense jusqu'à la limite voulue pour arriver à l'état de saturation normale correspondant à cet excès de pression.

Lorsqu'au contraire la pression diminue, l'ébullition devient tumultueuse parce qu'une quantité de vapeur se forme soudainement pour compléter la saturation de l'espace où se trouve la vapeur désaturée par cette diminution de pression.

Mais lorsqu'une vapeur est isolée de son générateur, les phénomènes ne sont pas les mêmes, et il y a lieu de considérer ce qui se passe lorsqu'un changement se produit dans les températures ou bien dans les pressions. Nous n'examinerons, bien entendu, que les cas qui peuvent se présenter dans les appareils d'évaporation et dans leurs organes.

Vapeur surchauffée. — Le changement de température peut être une augmentation ou une diminution.

Si l'on augmente la température d'une vapeur, soit par l'échauffement extérieur sa pression restant constante, soit par une compression ou travail mécanique extérieur, soit par une dilatation brusque sans production de travail extérieur, cette vapeur est dite surchauffée.

La vapeur surchauffée se comporte comme un gaz dont elle a toutes les propriétés.

Comme vapeur, sa température est supérieure à ce qu'elle serait à l'état de vapeur saturée, et sa pression inférieure à celle d'une vapeur saturée à même température.

Si l'on veut condenser cette vapeur, elle agit d'abord comme un gaz au contact de la paroi condensante; elle se refroidit jusqu'à ce qu'elle arrive à la température correspondant à son point de saturation, moment où elle se comporte alors comme une vapeur.

Par conséquent, lorsqu'une vapeur surchauffée pénètre dans un condenseur à surface tubulaire, comme une caisse de triple-effet par exemple, elle se comporte comme le ferait un gaz chaud. N'ayant pas de circulation rapide, elle reste stagnante au contact des parois froides jusqu'à refroidissement au point de saturation; mais à ce moment elle se condense instantanément pour faire place à d'autre. De là résulte une lenteur excessive dans la condensation des vapeurs surchauffées, et Normand, ingénieur-constructeur, a fait de nombreuses expériences qui prouvent que la condensation de la vapeur surchauffée de quelques degrés est vingt fois plus longue que celle de la vapeur saturée (ing. civils — 1890 II, p. 871).

Par conséquent tous les essais d'évaporation au moyen de vapeur surchauffée dans les appareils de sucrerie sans modification *ad hoc* sont des utopies. L'emploi de la vapeur surchauffée nécessiterait une double disposition permettant d'utiliser d'abord cette vapeur à l'instar des gaz chauds jusqu'à ce qu'elle arrive à son point de saturation, ensuite de condenser cette vapeur comme à l'ordinaire.

Et cependant l'emploi pondéré de la vapeur surchauffée peut avoir son utilité. Nous verrons plus loin que la vapeur est souvent humide et que dans ce cas elle se comporte mal à la condensation. Surchauffer une vapeur humide pour la ramener à son point de saturation serait chose utile, car on gagnerait, non pas une économie de combustible, mais une économie de temps sur la condensation et par conséquent une augmentation de rendement des appareils. Mais alors ce n'est plus du surchauffage, mais du simple chauffage de la vapeur humide. Seulement on peut arriver au même résultat en mélangeant une certaine quantité de vapeur surchauffée à la vapeur humide, dans la proportion convenable nécessaire pour obtenir le tout à l'état de vapeur saturée sèche.

Or, il est un cas assez remarquable et fréquent en sucrerie où la vapeur se surchauffe à l'insu de celui qui l'emploie.

Nous avons dit qu'une dilatation brusque sans production de travail extérieur surchauffait la vapeur. En effet, si Q est la quantité de chaleur fournie pendant l'échauffement, comme il n'y a aucun travail fourni, cet échauffement peut se mesurer par la différence arithmétique de la chaleur interne U_t et $U_{t'}$.

Or Zeuner a donné, avons-nous dit, pour U la formule empirique

$$U = 575,03 - 0,7882 t$$

puisque l'on a $t > t'$ la vapeur augmentant de volume, il est évident que U_t est plus petit que $U_{t'}$ par conséquent

$$Q = U_{t'} - U_t = 0,7882 (t - t')$$

Par conséquent la vapeur est surchauffée.

Les cas où la vapeur éprouve une dilatation brusque sans production de travail sont fréquents dans les appareils à vapeur. Ainsi lorsque la vapeur s'échappe du générateur dans l'atmosphère, la partie invisible du jet est surchauffée, elle a tout à fait l'aspect et les propriétés d'un gaz et ne se condense qu'au delà, sous forme de vapeur visible quand elle a perdu son excès de calories correspondant à la pression atmosphérique. Dans un tiroir de machine à vapeur, au moment où la vapeur en pleine pression s'échappe du cylindre dans l'atmosphère, il y a sur-

chauffage de la vapeur d'échappement si les issues offrent peu de résistance, et dans bien d'autres cas encore.

Or l'un des cas les plus fréquents dans les usines qui emploient de grandes tuyauteries, c'est celui qui provient de l'étranglement des soupapes de décharge. Et par-dessus tous, c'est le cas où une soupape envoie sa vapeur d'un tuyau sous pression dans un espace sous pression moindre, comme la soupape de vapeur directe qui fournit l'appoint de vapeur nécessaire à l'appareil d'évaporation.

Lorsque cette soupape est attachée directement au ballon qui reçoit les retours, la vapeur surchauffée qui s'en échappe se trouve immédiatement au contact de la vapeur très humide qu'il contient, et il devient difficile de constater la différence que cette vapeur additionnelle surchauffée produit sur l'évaporation. Mais si la soupape est reliée directement à la caisse d'évaporation, on remarque très facilement que la condensation est beaucoup plus active quand elle est ouverte que quand on la tient fermée, et cela non pas proportionnellement à la quantité de vapeur admise. Cela provient de ce que la vapeur humide des retours de machine, ayant déposé son excès d'humidité dans le ballon, en pénétrant dans l'appareil d'évaporation, se condense difficilement à cause de cette humidité. Mais sitôt que la soupape de vapeur directe est tant soit peu ouverte, il arrive immédiatement de la vapeur surchauffée qui sèche partiellement la vapeur de retour et rend sa condensation plus rapide. Le phénomène est tellement remarquable que les ouvriers eux-mêmes le constatent, et que la vraie manière d'*exciter* un appareil c'est d'amener de la vapeur directe, même en faible quantité, à l'endroit même où débouche la vapeur de retour. On voit donc quel profit un ingénieur connaissant bien les propriétés de la vapeur peut tirer de son installation, en donnant aux ouvertures telle ou telle section qui permette d'obtenir les résultats qu'il espère de l'emploi raisonné de la vapeur.

Dans le procédé Piccard dont nous parlerons ultérieurement, dans lequel on comprime la vapeur par une force mécanique, il y a également surchauffe, ce qui produit un résultat intéressant et utile, puisque les vapeurs de condensation étant humides, elles sont transformées de ce fait en vapeur saturée sèche très bien préparée pour la condensation.

Nous venons de voir ce qui arrive quand on augmente la température d'une vapeur saturée sèche. Quand on la diminue au contraire, il y a condensation, phénomène qui fera l'objet de l'étude même que nous entreprenons ici.

Quant aux changements dans la pression de la vapeur isolée de son générateur, nous venons de voir que l'augmentation produit une surchauffe que nous étudierons avec le procédé Piccard ; qu'une dimi-

nution sans production de travail produit également le surchauffage de la vapeur.

Lorsqu'une diminution de pression est accompagnée de production de travail extérieure, il y a *détente* de la vapeur, abaissement de température et condensation partielle. C'est le cas de la détente dans les cylindres des machines à vapeur sur lesquels nous n'avons pas besoin de nous étendre ici.

En résumé, dans la suite, lorsque nous nous trouverons en présence d'une vapeur, nous aurons à examiner si elle se trouve au contact de l'eau génératrice ou isolée de son générateur; si ses variations de température ou de pression produisent un travail extérieur ou n'engendrent aucun travail; si elle est saturée ou surchauffée.

Vapeur humide. — Voyons maintenant qu'elles sont les propriétés particulières de la vapeur humide dont nous ne nous sommes occupés qu'incidemment à propos de la vapeur saturée sèche ou de la vapeur surchauffée.

Lorsqu'un liquide s'évapore, il émet de la vapeur saturée. Mais cette vapeur contient en outre une certaine quantité de liquide entraîné variable avec la nature de ce liquide.

La vapeur saturée humide ne se comporte pas exactement comme la même vapeur à l'état sec. Il faut tenir compte dans les calculs de la chaleur propre du liquide mélangé à la vapeur et, si l'on examine des phénomènes particuliers, comme la surchauffe par exemple, il faut faire entrer l'élément aqueux comme modifiant tout par sa vaporisation spontanée dans le milieu échauffé. De même, pendant la détente, l'eau entraînée joue un tel rôle qu'elle intervertit parfois complètement les phénomènes propres à la vapeur saturée, amenant une évaporation de l'eau au lieu de la condensation de la vapeur.

Il est donc très intéressant de rechercher d'abord les causes de cet entraînement, pour tâcher ensuite de s'en débarrasser comme d'un élément troublant le travail normal de la vapeur pendant la condensation et de plus comme d'un motif de perte de sucre quand le liquide est sucré.

Eau vésiculaire. — Les nuages, les brouillards, les vapeurs chargées d'humidité qui se dégagent dans certaines conditions des appareils à haute ou basse pression, sont constitués par de l'eau à l'état *globulaire* ou *vésiculaire*. C'est un fait à peu près général. Ces globules ou vésicules sont formés par de la vapeur entourée d'une mince couche de liquide, absolument comme une bulle de savon.

Lorsque l'on évapore de l'eau pure en vase clos, comme dans les générateurs, l'entraînement vésiculaire est faible, parfois même presque nul. Mais si cette eau est chargée de substances augmentant sa densité comme le sucre, l'entraînement vésiculaire est considérable et d'autant plus grand que le sirop est plus concentré.

L'examen de l'état vésiculaire est donc pour la sucrerie de première importance.

La cause de la formation vésiculaire ne nous semble pas très difficile à expliquer au moyen de la théorie mécanique de la chaleur.

La vapeur en effet se forme lorsque l'eau a absorbé le nombre de calories nécessaires pour passer de l'état liquide à l'état gazeux. Cette vapeur se sépare alors du liquide générateur. Ici plusieurs cas peuvent se présenter.

Si la vapeur se forme à la surface du liquide dans un vase clos rempli lui-même de vapeur de même nature, il y a simple mélange des deux fluides sans autre action mécanique que celle qui provient de l'augmentation de pression que produit la nouvelle vapeur dans le générateur, s'il n'y a pas d'issue pour son départ.

Si la vapeur prend naissance au sein du liquide, elle forme une bulle qui monte à la surface. Il y a donc mouvement, production de force vive $\frac{v^2}{2g}$, et absorption de chaleur mesurée par l'expression :

$$\left(A \frac{v^2}{2g} \right)$$

à ce moment la bulle s'épanouit à la surface et est projetée par la vitesse acquise dans l'atmosphère qui surmonte l'eau génératrice de cette vapeur. Or, d'où peuvent provenir les calories que doit absorber la bulle de vapeur en mouvement. Elles ne peuvent être prises à la chaleur propre de la vapeur qui forme cette bulle, puisque sa température ne change pas; car si la température changeait la bulle se condenserait. C'est donc le milieu ambiant qui fournit les calories nécessaires au mouvement. Il y a donc refroidissement du milieu ambiant au profit de la bulle de vapeur en mouvement.

Ceci expliquerait assez bien l'inégalité que l'on remarque dans l'ébullition des liquides, les bulles s'échappant d'un point du récipient peut-être meilleur conducteur de la chaleur que les autres, et les points environnants restant calmes comme si aucune vapeur ne s'y formait à l'égal de l'endroit voisin. Sans doute lorsqu'une bulle se forme et monte, elle absorbe en ce mouvement assez de calories pour empêcher l'ébullition tumultueuse du milieu qui l'environne.

La bulle, en s'échappant à la surface du liquide, est projetée par la vitesse acquise dans l'atmosphère qui le surmonte.

Quand on regarde bouillir de l'eau dans un vase en verre, on voit combien faible est cette vitesse acquise, car la bulle pour remonter éprouve une série de résistances de la part du liquide qui le presse de tous côtés et entrave sa marche ascensionnelle, et quand elle arrive en haut, le dernier obstacle qu'elle rencontre c'est la force capillaire, ou tension superficielle, qui fait naître les bulles à la surface et qu'elle doit vaincre pour sortir.

C'est pourquoi la vapeur qui se forme dans les générateurs au sein de l'eau pure peut être considérée entièrement comme si elle naissait à la surface du liquide, et dès lors dénuée de toute force vive, à moins d'un surmenage de la chaudière. Mais considérons maintenant le cas où l'atmosphère qui surmonte l'eau génératrice est un gaz plus lourd que la vapeur, comme l'air, par exemple, quitte à revenir ultérieurement à une atmosphère de vapeur.

Dans l'évaporation à air libre, la bulle de vapeur formée, ou s'épanouissant à la surface du liquide, monte dans l'air à cause de son faible poids spécifique. Il y a encore mouvement et absorption de calories $\left(A \frac{v^2}{2g}\right)$ aux dépens du milieu ambiant. D'où peuvent provenir ces calories, puisque, comme nous venons de le voir, ce n'est pas la bulle de vapeur elle-même qui les abandonne?

Si l'on est en plein air, comme en rase campagne, lorsque le sol, en été, abandonne à la rosée matinale la chaleur qu'il a emmagasinée la veille, cette rosée se répand en vapeur dans l'air saturé d'humidité. Elle s'élève, et son mouvement produit un refroidissement de tout ce qui l'entoure, car, comme nous venons de le dire, c'est le milieu ambiant qui fournit les calories nécessaires au mouvement de cette vapeur. C'est donc l'air et la vapeur qui le sature, qui se refroidissent au profit de la vapeur nouvelle formée à la surface du sol et qui monte. Mais la vapeur contenue dans l'air, aussitôt qu'elle se refroidit, se condense, et comme ce refroidissement a lieu tout autour de la bulle de vapeur en mouvement, c'est tout autour que se fait la condensation; alors cette eau condensée en une multitude de gouttelettes est retenue par la force capillaire et forme une enveloppe liquide à la bulle de vapeur, donnant ainsi naissance à la *vésicule* dont sont formés les brouillards et les nuages. Cette vésicule, comme un ballon microscopique, se maintient dans l'air à la hauteur correspondant à sa densité, et chacun connaît la fraîcheur spéciale et caractéristique de ces nuées matinales qui vous tient parfois

à mi-corps tandis que la tête s'élève dans une atmosphère plus chaude que celle où se trouvent les pieds.

Mais bientôt cette vapeur enfermée dans son enveloppe aqueuse devenue stationnaire se refroidit elle-même, se condense et retombe sur le sol à l'état de rosée, et fait place à de nouvelles vésicules venues du sol, à moins qu'un joyeux coup de soleil ne dissipe le tout, en vaporisant l'enveloppe elle-même sous l'effet de ses chauds rayons. Et alors toute cette vapeur surchauffée monte dans les hautes régions atmosphériques qui, plus froides, se saturent à leur tour d'humidité; mais son mouvement rapide les refroidit à son tour, et les nuages se forment. C'est pourquoi le soleil matinal sur les nuées des prairies amène presque toujours un temps couvert; tandis que, lorsque la rosée tombe, le beau temps est certain.

Tout ce que nous venons de dire à propos des nuages peut s'appliquer aussi bien à ce qui se passe dans les appareils clos où naissent les vapeurs. Mais ce qui différencie les résultats c'est le milieu au sein duquel se forment les vapeurs.

Lorsqu'un jus est en ébullition, son point d'ébullition est plus élevé que celui de la vapeur qui le surmonte. Dès lors la vapeur qui prend naissance au sein du liquide est surchauffée par le contact de ce liquide. Quand elle s'en échappe sa densité est moindre que celle de la vapeur au milieu de laquelle elle s'élance, et elle monte d'autant plus rapidement qu'elle est plus chaude, et ce mouvement amène encore la formation vésiculaire dans un milieu de vapeur même. Donc plus le jus sera concentré, plus la vapeur qu'il émettra sera chaude, plus grande sera la chance de formation vésiculaire.

C'est pourquoi cette formation vésiculaire est pour ainsi dire nulle dans les chaudières à vapeur alimentées d'eau pure, et qu'elle est beaucoup plus considérable dans les caisses à sirop que dans les caisses à jus d'un appareil, allant en progressant du premier jusqu'au dernier, et à la chaudière à cuire.

On peut donc dire que *l'état vésiculaire est la forme sous laquelle se révèle la vapeur en mouvement au sein d'une vapeur stagnante.*

Et maintenant si l'on considère ce que nous disions quelques lignes plus haut sur la projection des bulles de vapeur à travers le liquide, s'épanouissant à la surface sous forme de bulles qui crèvent lorsque la force capillaire n'est plus suffisante pour les retenir; si l'on songe que cette force capillaire s'exerce aussi bien de liquide à gaz que de solides à liquide; si enfin on a constaté que la force capillaire de cohésion est bien plus grande dans les liquides concentrés que dans l'eau pure, on ne sera pas étonné que la bulle de vapeur en s'élançant de la surface du

liquide entraîne avec elle quelques parcelles du liquide même qui s'opposait à son ascension, comme une bulle de savon quitte le chalumeau lorsque son poids est plus grand que la force de cohésion qui l'y retenait, et que, par conséquent, les vésicules formées contiennent les éléments du liquide générateur. C'est pourquoi les nuées qui se forment sur la mer sont salées, et les vapeurs qui s'échappent d'une chaudière à cuire sont sucrées, et d'autant plus que le liquide générateur était lui-même plus concentré.

La vapeur vésiculaire est en état d'équilibre tout à fait instable, car il n'est pas possible d'admettre qu'une vapeur soit en contact avec un liquide de même nature sans que l'un ou l'autre prenne le même état que son voisin. Ce n'est que grâce à l'action de *mouvement* que la vésicule peut subsister. Arrêtez le mouvement, bientôt l'eau condensera la vapeur et le tout retombera en pluie.

Dans une chaudière close le mouvement de la vapeur a deux causes, l'évaporation d'une part et ensuite l'appel de la vapeur à travers les conduites vers le lieu où elle sera consommée.

Si l'espace vide laissé au-dessus du liquide en ébullition comme réservoir de vapeur est suffisamment élevé pour que la bulle de vapeur trouve à l'état de vésicule une hauteur suffisante pour son ralentissement *absolu* avant d'être entraîné dans les conduites, la vésicule après un temps d'arrêt finira par se fondre et retomber en gouttelettes. Si au contraire la calandre n'est pas assez élevée la vésicule sera entraînée jusqu'à ce qu'un phénomène nouveau vienne la résoudre en liquide et vapeur.

Or, dans les conduites, la vapeur subit sans cesse une série de ralentissements et d'entraînements brusques qui produisent des détentes et des diminutions de pression telles que la vésicule ne peut manquer d'éclater, dans un de ces moments où son volume augmente au delà de la force d'élasticité de son enveloppe.

Pour se rendre compte de ce phénomène il faut remarquer qu'il y a, au moment de la détente brusque de la vapeur humide, deux phénomènes qui se passent. Au début il y a vaporisation d'une partie du liquide jusqu'au moment où le rapport du poids de la vapeur au poids d'eau qui la mouille arrive à une certaine proportion variable avec la température. Ensuite, si la détente continue, il y a condensation d'une certaine quantité de la vapeur. Rappelons que le mot *détente* s'entend de l'augmentation de volume de la vapeur avec production de force vive, et ce cas se présente dans les tuyauteries lorsqu'aux changements de direction il y a des compressions suivies de détentes pour les vésicules qui reprennent leur course à travers la conduite.

Dans tous les cas la vésicule humide doit crever, l'eau se précipiter à l'état de gouttelettes et constituer les entraînements.

C'est ainsi que, dans les appareils d'évaporation à effets multiples, fonctionnent au point de vue thermique les *ralentisseurs* dont nous donnerons plus loin la théorie mécanique. C'est aussi ce qui explique l'utilité des ballons ou réservoirs de vapeur à la sortie des générateurs.

Mais il résulte de là que le meilleur moyen de n'avoir pas d'entraînements d'eau par la vapeur vésiculaire, c'est de laisser au-dessus du liquide une hauteur assez grande pour que la vésicule disparaisse, hauteur qui doit être d'autant plus grande que la densité du liquide est elle-même plus élevée.

Condensation de la vapeur humide. — Lorsque la vapeur est employée au chauffage, il est très intéressant qu'elle soit à l'état de vapeur saturée sèche. En effet l'expérience prouve qu'une vapeur très chargée d'eau donne, comme chauffage, des résultats bien inférieurs à ceux fournis par la vapeur sèche.

Il est fort compréhensible en effet que la vésicule de vapeur n'agit sur les parois condensantes que par contact de son enveloppe aqueuse. La vapeur réchauffe son enveloppe au fur et à mesure qu'elle se refroidit au contact de la paroi. C'est donc un chauffage à l'eau chaude à température constante que fournit la vésicule, plutôt qu'un chauffage à la vapeur. La conductibilité de l'eau est d'ailleurs infiniment plus petite que celle du métal, comme nous le verrons plus loin lorsque nous étudierons la transmission de la chaleur à travers les parois condensantes, de sorte que malgré l'épaisseur très faible que doit avoir l'enveloppe vésiculaire, il en résulte un affaiblissement considérable dans l'acte de la condensation. Remarquons d'ailleurs que pendant le temps que se condense une vésicule sur la paroi, une bien plus grande quantité de vapeur saturée sèche occupant le même emplacement aurait pu se condenser elle-même, en sorte que la vésicule non seulement est un agent de chauffage déplorable mais encore tient une place qui aurait été bien mieux utilisée par de la vapeur sèche.

La vapeur peut être humide aussi par l'entraînement de l'eau condensée sur les parois de la tuyauterie. Cette eau, projetée sur les tubes de condensation, est tout aussi nuisible que l'eau vésiculaire à cause de la place qu'elle vient occuper sur les tubes au détriment de la vapeur.

Donc tous les moyens que l'on pourra employer pour sécher la vapeur sans en changer la nature de vapeur saturée, rendront un réel service.

Mélange d'air et de vapeur. — Si la présence de l'eau entraînée est nuisible, la présence de l'air mélangé avec la vapeur ne l'est pas moins.

Dans les appareils d'évaporation dans le vide, les rentrées d'air sont iné-

vitables, soit par les joints, soit par les robinets, les glaces, les rivets, etc. Tout concourt à des rentrées de ce genre. De plus les jus sucrés dégagent des gaz, comme l'ammoniaque et l'acide carbonique. Air et gaz sont des ennemis de la condensation dont on ne se méfie pas assez.

Nous avons attiré précédemment l'attention sur le mauvais effet des vapeurs surchauffées dans nos appareils tubulaires, qui ne sont pas disposés de telle façon que les gaz puissent se refroidir utilement pour le chauffage à la surface des tubes. La même observation se rapportera aux gaz entraînés avec la vapeur. Mais il y a plus.

Ces gaz entraînés dans les conduites continuent le même mouvement dans des conditions thermiques différentes. En effet la force qui les entraîne est la même; mais la *masse* de l'air étant bien différente de celle de la vapeur d'eau, les forces vives produites, et par conséquent les expressions correspondantes $\left(A \frac{v^2}{2g}\right)$, s'écartent d'autant plus de l'égalité pour chacun des deux. Enfin la chaleur interne de l'air est beaucoup plus faible que celle de la vapeur d'eau. Il en résulte que les deux gaz cheminent côte à côte avec leur mouvement propre et leur réaction thermique particulière l'un sur l'autre, amenant encore des condensations partielles de vapeur, puisque c'est toujours par là que se terminent pour elle les manifestations du mouvement.

S'appuyant sur l'expérience de Berthollet, certains ingénieurs ont supposé que les gaz entraînés avec les vapeurs se mélangeaient intimement avec elles, et que dans le condenseur, malgré la condensation d'une partie de la vapeur, les gaz continuaient à rester parfaitement mélangés dans toute la masse.

Cependant, pour quiconque a observé un condenseur tubulaire vertical, il est un fait constant, c'est que lorsqu'aucun moyen n'existe pour purger l'air arrivant avec la vapeur, le condenseur s'emplit d'air de plus en plus, au point qu'à un certain moment la vapeur ne rentre plus, et le condenseur est entièrement froid sur toute sa hauteur; si l'on observe à la main la marche du refroidissement du condenseur, on remarque que c'est par le bas qu'il se refroidit d'abord, le haut restant chaud, que la zone froide s'élève de plus en plus jusqu'à ce qu'elle arrive en haut, moment où tout est rempli d'air. Si à ce moment on pratique une ouverture par le bas, tout l'air s'en échappe froid et le condenseur se réchauffe graduellement de haut en bas.

J'ai construit, pour étudier ce phénomène, un appareil en verre permettant de voir tout ce qui se passe pendant les condensations.

Cet appareil se compose d'un cylindre vertical en verre, formant l'enveloppe extérieure d'un condenseur à surface. Des tubes verticaux en

verre sont à l'intérieur de cette enveloppe et sont traversés par un courant d'eau réglable au moyen d'un robinet. Le tout est serré entre deux plaques de cuivre avec joints étanches.

Un tuyau traversant le fond supérieur amène la vapeur d'un ballon servant de générateur et muni d'un manomètre à mercure à air libre.

Les eaux condensées sont enlevées par un robinet vissé dans la plaque du bas, et se réunissent dans un flacon tubulé en communication par des robinets avec une pompe à main faisant fonction de pompe à air, ou avec l'atmosphère.

Cet ensemble constitue donc un condenseur à surface vertical pouvant marcher à volonté avec le vide ou avec la pression.

Voici ce que l'on observe pendant les expériences.

Au moment où l'on met l'appareil en route, la vapeur arrivant dans l'espace intertubulaire chasse l'air qu'il contient. On la voit s'élever d'abord dans le haut sous la forme de nuage, déplacer l'air qui s'échappe par le bas *sans qu'il y ait mélange*.

Quand l'appareil est bien purgé d'air, l'enveloppe extérieure est chaude également sur toute sa hauteur.

A ce moment on envoie de l'eau dans les tubes intérieurs, et on dirige la condensation de manière à ce qu'il y ait du vide dans l'appareil, et l'on ouvre sur le générateur un robinet qui fait pénétrer un peu d'air au sein de la vapeur. Cet air, suivant le mouvement de la vapeur à laquelle il est mélangé, se rend dans le condenseur avec elle.

Or on observe, au bout de très peu de temps, que le bas de l'enveloppe du condenseur se refroidit complètement, et que la condensation cesse sur les tubes sur toute la partie froide. En même temps la pression monte au générateur puisque le condenseur condense moins. Si l'on purge alors le bas du condenseur, soit à l'air libre si l'on est en pression, soit avec la pompe s'il y a du vide, l'air qui s'était accumulé dans le bas et empêchait la condensation s'échappe, et le condenseur se réchauffe de nouveau dans sa partie basse.

Cette expérience est tout à fait concluante et prouve que l'air qui arrive avec la vapeur, loin de rester indéfiniment mélangé avec elle, se sépare par ordre de densité au moment de la condensation de la vapeur et tombe en bas du condenseur.

Pour que l'on puisse suivre encore plus facilement la marche du phénomène, et le rendre à la fois *visible* et *tangible*, j'ai opéré de la manière suivante. Au lieu d'envoyer de l'air pur dans l'appareil, j'aspire un mélange d'air et de vapeur de brome.

A ce moment tout le condenseur et la vapeur du générateur deviennent rouges. Il y a donc mélange immédiat des gaz et des vapeurs.

Mais bientôt le haut du condenseur s'éclaircit, et en peu d'instants la partie inférieure seulement reste rouge, et si l'on pose la main à cet endroit on constate que toute la partie rouge est froide, et que tout le reste est chaud, formant une ligne de transition aussi nette que la coloration. Quelques coups de pompe enlèvent alors les gaz rouges qui sont remplacés par de la vapeur, et quand la purge est complète le condenseur est chaud également du haut en bas.

On constate donc ainsi, de visu, ce que le toucher avait indiqué déjà, c'est que les gaz lourds se précipitent au bas du condenseur pendant que la vapeur se condense.

Donc, dans un condenseur à surface, l'air qui rentre par les joints, fentes ou autres, les gaz lourds qui se dégagent des jus et qui sont mélangés d'abord avec la vapeur, se résolvent bientôt en gaz seuls par suite de la condensation de cette vapeur, et ces gaz lourds tombent en bas du condenseur sans se mélanger avec la nouvelle vapeur qui survient après cette condensation.

Donc encore, pour enlever l'air qui arrive avec la vapeur, il faut purger les condenseurs *par le bas* en même temps qu'on enlève les eaux de condensation.

Pour expliquer ce phénomène, il faut observer que le mélange d'air et de vapeur qui pénètre dans le condenseur est à l'état de *mouvement*; que l'expérience de Berthollet a été faite au contraire à l'état de *repos absolu* dans les caves de l'Observatoire, et qu'elle a duré un temps assez long pour arriver à l'obtention du mélange parfait, le phénomène de diffusion qui procède au mélange dans ces conditions étant une action essentiellement lente; que l'état de mouvement ne peut être comparé à l'état de repos, car il comporte avec lui des conditions dynamiques qui doivent entrer en ligne de compte; et, par conséquent, c'est une grave erreur que de vouloir appliquer la loi de Berthollet aux gaz en mouvement.

La condensation de la vapeur sur les parois froides du condenseur est la cause unique du mouvement des fluides gazeux dans ce condenseur. C'est donc en observant les phénomènes mêmes de la condensation qu'il va falloir chercher la cause du refroidissement du condenseur graduellement de bas en haut, lors qu'il est alimenté par un mélange d'air et de vapeur, par l'accumulation des gaz lourds en bas.

Observons que le mouvement qui existe dans les condenseurs est violent au moment où la vapeur y pénètre, puisqu'elle y arrive avec une vitesse de 20 à 30 mètres, et parfois 40 mètres par seconde; que, par conséquent, il y a à l'entrée un tourbillonnement énorme. Mais ce tourbillonnement cesse aussitôt que l'on sort de la zone d'arrivée de vapeur,

pour faire place au mouvement propre dû à la condensation, influencé seulement par l'agitation spéciale qui provient du tourbillonnement des zones supérieures.

Ce mouvement propre qui représente la vitesse réelle de la vapeur au moment de la condensation peut s'évaluer de la manière suivante.

Dans un triple-effet par exemple, la moyenne maxima de travail correspond à l'évaporation de dix hectolitres de jus par 24 heures, par mètre carré de surface de chauffe. Ce qui représente une condensation de moins de 0*,01 de vapeur par seconde et par mètre carré.

Si l'on envisage la troisième caisse où le volume spécifique de la vapeur est le plus considérable, soit 2.400 litres, 0*,01 de vapeur occupent 24 litres répartis sur 1 mètre carré; c'est donc une couche de vapeur de 24 centimètres qui se condense par seconde. La vitesse de la vapeur dans le troisième corps, qui est le plus défavorable, n'est donc que de 24 centimètres par seconde.

Dans la première caisse elle n'est que de 12 centimètres, et de 16 dans la seconde, vitesses excessivement faibles pour de la vapeur.

C'est pourquoi lorsqu'on sort de la zone de tourbillonnement, un calme relatif existe dans le reste de l'appareil, calme qui favorise le mouvement propre des gaz non condensables, isolés de la vapeur lors de la condensation et qui sont plus lourds que la vapeur ambiante.

Donc, dans le condenseur, nous sommes dans une enceinte où existe une pression constante et un mouvement continu. Dans ce milieu arrive le mélange d'air et de vapeur. Tous deux cheminent vers le but commun, la paroi condensante, et se heurtent contre cette paroi. La vapeur se condense, mais l'air séparé de sa vapeur ambiante se refroidit seulement au contact de la paroi. Mais arrive immédiatement de nouvelle vapeur qui remplace celle qui est condensée, et qui balaie l'air refroidi et l'entraîne dans le mouvement général. Que se passe-t-il alors ?

Quand l'air se refroidit, il abandonne à la paroi :

$$Q = c (t - t')$$

calories. Mais en même temps qu'il se refroidit son volume diminue, subissant de la part du milieu ambiant un travail extérieur Apv qui se traduit par une élévation de température interne $AR (t'' - t')$.

Mais à ce moment la bulle gazeuse refroidie, isolée de la vapeur qui lui servait de véhicule et qui s'est condensée, est entraînée par le courant continu existant autour d'elle, et se retrouve bientôt au milieu de la vapeur chaude. Elle se réchauffe donc au contact de cette vapeur et le travail inverse du précédent s'opère. La force mécanique Apv emmagasinée par l'air contracté, cet air va le rendre à la vapeur ambiante

sous forme de travail, puisqu'il reprend sa température et aussi son volume primitif en repoussant les molécules de la vapeur qui le pressent.

Mais de son côté la vapeur, pour réchauffer l'air se refroidit et se condense à son contact. Il y a donc une succession d'attractions et de répulsions des deux fluides qui échangent leurs calories en produisant un travail de sens contraire, l'un élargissant ses pores au moment où l'autre resserre les siens ; c'est ce travail continu et opposé qui fait que le gaz et la vapeur ne peuvent se pénétrer pour faire le mélange parfait, puisque l'un repousse l'autre à chaque fois qu'il y a contact.

Donc la vapeur et l'air en cet état dynamique ne peuvent se mélanger, entraînés dans un mouvement continu dont la paroi froide est le centre actif, pour ainsi dire, d'attraction.

Au moment où la vapeur se liquifie, elle se trouve donc en présence des molécules de l'air qui lui était mélangé. Ces molécules de vapeur liquifiée et d'air suivent ensemble les lois de la gravitation, et les phénomènes de la capillarité qui les collent pour ainsi dire l'un à l'autre, peut-être même à l'état vésiculaire instable, doivent entrer aussi pour cause active dans ce qui va se passer ; en sorte que l'eau condensée et l'air se précipitent rapidement vers le bas de l'appareil, en suivant la trajectoire que leur procure le mouvement initial. Or, a cause des nombreux tubes du condenseur, l'air rencontre, en décrivant sa parabole, d'autres tubes où les mêmes phénomènes que précédemment se reproduisent, refroidissement, réchauffement ensuite aux dépens de nouvelles quantités de vapeur qui vont se condenser contre les parois froides, et cela jusqu'à ce qu'il arrive en bas de l'appareil, après avoir décrit une suite de portions de paraboles dont la tangente au point de contact tend de plus en plus à s'approcher de la verticale.

C'est ainsi que l'on peut s'expliquer la cause de la chute de l'air au bas des condenseurs, et que, sans même que l'expérience le confirme, l'analyse aurait dû le faire prévoir d'avance.

L'air agit donc de deux façons nuisibles quand il est mélangé à la vapeur. D'abord parce qu'il occupe la place que la vapeur utiliserait beaucoup mieux au contact de la paroi condensante, et qu'il occupe cette place plusieurs fois de suite jusqu'à ce qu'il arrive au bas de sa course ; ensuite parce qu'il condense une certaine quantité de vapeur dans ses réchauffements successifs, et enfin qu'il rend par là la vapeur humide, condition déplorable pour les chauffages.

Cela explique l'effet nuisible de la présence de l'air, ou plutôt des gaz en général, dans la vapeur, au point de vue de la condensation et par conséquent au point de vue de l'effet utile des appareils.

Gaz ammoniacaux. — Avec les gaz lourds, la vapeur entraîne également des gaz légers, et particulièrement l'ammoniaque.

Les mêmes raisonnements amènent à dire que l'ammoniaque doit occuper les sphères supérieures du condenseur, mais que ce mouvement ascendant doit être plus pénible que le mouvement descendant à cause des phénomènes de capillarité.

C'est un fait constaté depuis longtemps par l'usure des tubes de cuivre rongés considérablement par le haut, et plus en haut que partout ailleurs.

Mais le mécanisme de cette perforation est mal connu. Voici ce qui se passe.

L'ammoniaque ne ronge le cuivre qu'en présence de l'oxygène de l'air. Il se forme dans ce cas de l'oxyde de cuivre ammoniacal soluble dans l'eau, et en même temps de l'azotite de cuivre. Sans la présence de l'air, l'ammoniaque est complètement inerte vis-à-vis du cuivre.

Les gaz ammoniacaux qui s'accumulent dans la partie haute du condenseur ne sont donc dangereux pour les tubes que si l'air arrivant avec la vapeur peut s'y mélanger.

Or, en général, la construction des appareils est bien faite pour que ce mélange ait lieu. La tubulure qui amène la vapeur de chauffage est au-dessus du plancher, et très près de la plaque tubulaire supérieure ; par conséquent le remous est violent en cet endroit, et il n'y a que quelques centimètres qui séparent la plaque tubulaire supérieure de ce centre d'agitation. Par conséquent les gaz ammoniacaux, arrivant en haut, se trouvent forcément en contact avec l'air contenu dans la vapeur, surtout en certains points où le remous est plus violent. En ces points là, les tubes sont infailliblement rongés, même avec une extraction supérieure, parce que l'eau condensée sur les tubes dissout une certaine quantité d'ammoniaque, et l'oxygène de l'air agissant sur cette dissolution, le cuivre est forcément dissout.

Il en résulte que les tubes sont percés au point déterminé correspondant à la limite de l'épaisseur de la couche ammoniacale accumulée dans le haut de l'appareil. C'est ce qui fait que certains tubes sont percés à l'affleurement de la plaque tubulaire, et d'autres à 5 ou 10 centimètres plus bas.

Dans certains appareils, comme ceux de Fives-Lille, l'arrivée de la vapeur étant contrariée par une tôle perforée, le mélange de l'air et des gaz ammoniacaux dans le haut de l'appareil est plus difficile. Dans ce cas la solution ammoniacale, ruisselant le long des tubes, ne commence à attaquer le métal que dans la partie médiane, là où l'air arrive plus abondamment qu'en aucun autre point. Les tubes sont rongés alors vers le milieu, suivant des lignes vermiculaires du haut en bas, dessinant la

direction que prennent les liquides condensés pour se rendre au bas du tube.

Enfin il est un point qui se ronge souvent, c'est le bas des tubes, lorsqu'il existe une couche d'eau stationnaire au fond de l'appareil ; car cette eau ammoniacale agit au contact de la couche d'air avec la couche liquide, et alors les tubes sont littéralement coupés au niveau de l'eau.

Tous ces phénomènes peuvent être rendus visibles au moyen de l'appareil en verre décrit plus haut. Si, en effet, on introduit de l'ammoniaque dans l'appareil, et qu'ensuite on y fait entrer une trace d'acide chlorhydrique, on voit tout le haut de l'appareil blanchir fortement ainsi que la surface des tubes et de l'eau condensée, tandis que le corps même de l'appareil est beaucoup moins teinté et assez transparent pour que l'on voie ce qui se passe.

Donc, dans ce cas, tout l'appareil contient de l'ammoniaque. Mais c'est surtout le haut qui en contient le plus. Seulement on remarque que si le corps même de l'appareil contient de l'ammoniaque, c'est par suite de la dissociation de la solution ammoniacale qui couvre la plaque tubulaire inférieure et les tubes, et dont l'alcali s'échappe lentement par suite de la température élevée. Au bout d'un certain temps le bas de l'appareil s'éclaircit, le haut seul restant blanchâtre. Enfin tout disparaît, le chlorhydrate se dissolvant dans l'eau condensée sur les parois.

Cette expérience est très intéressante, mais assez difficile à réaliser. Elle prouve l'immense difficulté qu'il y a à se débarrasser des gaz ammoniacaux, et que l'extraction des gaz légers par le haut n'enlève qu'une partie des chances de destruction des tubes ; puisque l'ammoniaque condensée se régénère partiellement.

Il est donc de toute nécessité, pour arriver au maximum d'innocuité de l'ammoniaque, de disposer l'arrivée de vapeur dans l'espace inter-tubulaire de manière à laisser une chambre suffisante pour mettre les couches ammoniacales à l'abri du remous ; d'extraire le plus de gaz ammoniacaux possible par le haut ; de ne laisser aucune quantité de liquide condensé séjourner dans le bas ; enfin d'éviter le plus possible les rentrées d'air dans l'appareil.

§ 5. — Condensation de la vapeur sur les parois de chauffage.

Après avoir étudié les lois générales auxquelles obéit la vapeur en formation et en mouvement, nous allons rechercher les formules qui nous permettront de calculer les surfaces de chauffage des appareils en nous appuyant sur ces lois générales. Nous allons parcourir tour à tour les

quatre phases de transmission du calorique dont nous parlions précédemment, mais nous ne nous occuperons tout d'abord que de la vapeur saturée sèche. Il est vrai que la vapeur, dans les différentes phases du travail, est parfois humide ou surchauffée, et que les formules que nous allons énoncer se modifient un peu dans la pratique, quoique l'on cherche toujours à ramener cette vapeur à son état normal saturé et sec, mais comme cet état est de beaucoup le plus important en marche correcte, les formules que nous allons obtenir se rapprocheront d'autant plus de la vérité que les appareils seront mieux construits et aménagés. La comparaison des chiffres donnés par les formules et de ceux fournis par la pratique, nous fournira ainsi de précieux enseignements sur le plus ou moins bon agencement des machines en observation et permettra aux ingénieurs de rectifier les inexactitudes que signaleront les divergences constatées.

La première action de la vapeur agissant comme agent de chauffage est sa *condensation*.

En 1887, j'ai publié dans le bulletin de la *Société des Ingénieurs Civils* un mémoire sur la condensation de la vapeur. Nous le reproduisons ici in extenso ; nous en tirerons ensuite les conclusions pratiques qu'il comporte.

ÉTUDE SUR LES APPAREILS DE CONDENSATION

OBJET DE CETTE ÉTUDE

Lorsque l'on cherche dans la pratique à se rendre compte de la quantité de vapeur condensée, sur une surface refroidie, par heure, par mètre carré de cette surface et par degré de différence de température, on se trouve en présence de résultats extraordinairement discordants, suivant les circonstances dans lesquelles s'est opérée cette condensation.

De même, si l'on recherche ce qu'ont écrit les auteurs sur ce sujet, on relate des différences considérables dans leurs appréciations.

C'est ainsi que Pécelet, relatant les expériences de Thomas et Laurens, remarque que l'une d'elles faite avec une vapeur de chauffage à 133° a donné une condensation de 8,70 *kg*, tandis qu'une autre, dans laquelle la vapeur avait 121°, a donné une condensation de 9,33 *kg* par mètre carré, par heure et par degré de chute (ou différence) de température. C'est ainsi également que si nous considérons un appareil d'évaporation

à triple-effet, nous trouvons que chaque mètre carré, par heure et par degré de chute de température, condense dans la première caisse 3,84 *kg*, dans la seconde 2,85 *kg*, dans la troisième 1,89 *kg*, la vapeur initiale de chauffage étant à 112°.

Quelle est la cause de ces différences considérables dans la condensation ? C'est ce que nous avons cherché à expliquer dans ce travail.

SUR LA CONDENSATION DE LA VAPEUR DANS LES APPAREILS D'ÉVAPORATION

Quand on calcule la quantité de liquide évaporée dans un appareil chauffé par la vapeur, on remarque que, dans un temps donné, cette quantité de liquide est proportionnelle à la surface de chauffe, à la différence de température entre la vapeur de chauffage et le liquide chauffé, ce que nous appelons la chute de chaleur, et enfin à un certain coefficient variable avec la forme et la nature de cette surface de chauffe, suivant par exemple qu'elle est bien nettoyée ou revêtue d'incrustations, ce coefficient représentant le pouvoir évaporatoire particulier de chaque appareil.

En s'en tenant à ces données générales, si l'on calcule le travail des appareils d'évaporation à effets multiples, on voit que si les caisses de l'appareil sont égales, si leurs surfaces de chauffe ont le même coefficient évaporatoire, comme l'évaporation est la même dans chaque caisse, les chutes de chaleur devraient être aussi égales entre chaque caisse. C'est ce que, du reste, on trouve dans tous les ouvrages qui ont été écrits sur la matière.

Or il n'en est pas ainsi dans la pratique.

En effet, l'examen d'une quantité considérable d'appareils d'évaporation à effets multiples nous a montré qu'avec des surfaces égales, identiques, comme forme et comme nature de surface de chauffe, les chutes de chaleur, loin d'être égales, vont au contraire en augmentant quand on s'éloigne de la première caisse.

Par exemple, dans un triple-effet à trois caisses égales, identiques, les chutes sont :

1 ^{re} caisse	9,08
2 ^e —	12,08
3 ^e —	18,00

Ce qui fait que l'évaporation par heure, par degré de chute et par mètre carré de surface de chauffe, est dans chaque caisse respectivement de 3,84 *kg*, 2,85 *kg*, 1,89 *kg*, comme nous le disions précédemment.

D'autre part, nous avons remarqué qu'avec les mêmes chutes on pouvait obtenir une plus grande évaporation par mètre carré et par heure, en augmentant la température de la vapeur de chauffage, et obtenir jusqu'à 5 kilogrammes d'évaporation dans le premier corps, mais qu'avec de la vapeur d'une température donnée, on obtenait toujours le même résultat.

La température de la vapeur de chauffage était donc un facteur à introduire dans l'équation du problème.

C'est alors qu'après de longues recherches nous avons constaté que les chutes de température entre chaque caisse d'un appareil d'évaporation à effets multiples, à caisses égales et identiques, étaient proportionnelles au volume du kilogramme de vapeur de chauffage.

Cette dernière observation nous ouvrit la véritable voie dans nos recherches. Nous en avons conclu, en effet, cette loi tout à fait générale, qui se vérifie dans toutes les expériences et dans tous les appareils, que *la quantité de liquide évaporée* sur une surface de chauffe est non seulement proportionnelle à la surface de chauffe, à la chute de température et au coefficient d'évaporation de cette surface, comme nous le disions plus haut, mais encore *est inversement proportionnelle au volume spécifique de cette vapeur de chauffage*.

Et le fait s'expliquait facilement en considérant : que la différence de volume d'un kilogramme de vapeur dépend de l'écartement de ses molécules ; que les molécules d'une vapeur dont le volume spécifique est double de celui d'une autre vapeur mettent deux fois plus de temps que celles de l'autre vapeur pour arriver au contact de la paroi condensante, ces deux vapeurs étant sollicitées par la même différence de pression, puisque l'espace qui sépare les molécules les unes des autres est deux fois plus grand ; et qu'enfin, puisque le temps de la condensation est double, il faudra donc pour faire le même travail dans le même temps ou une surface condensante double, ou une chute de chaleur double. C'est, en effet, ce qui ressort des chiffres précédents : avec des surfaces égales les chutes sont doubles, le volume du kilogramme de vapeur étant dans le rapport de 1,200 à 2,400, dans la première et dans la troisième caisse.

Partant de là, nous avons formulé ainsi qu'il suit les lois de la condensation.

LOIS DE LA CONDENSATION

Lorsqu'une molécule de vapeur d'eau se condense, elle disparaît sous forme d'eau. Pour simplifier, nous supposerons que cette eau s'écoule

immédiatement. Alors la place qu'occupait cette molécule est prise par la molécule la plus rapprochée qui se précipite au contact de la paroi condensante, sollicitée par la différence de pression qui existe entre la pression qu'elle supporte et la résistance due au travail de la condensation, et enfin suivant les lois de la dynamique.

Si le régime de l'appareil est réglé de manière que dans l'espace où se fait la condensation règne une pression constante p , correspondant à la température t , qui est celle de la vapeur qui afflue continuellement pour remplacer celle qui se condense, chaque molécule de vapeur sera sollicitée, d'une part, par la pression p à prendre la place des molécules disparues par la condensation.

D'autre part, les molécules de vapeur se trouvant au contact de la paroi froide, à la température constante t' , se refroidissent elles-mêmes à cette température t' de la paroi, tendant à prendre la force élastique $p' < p$ correspondant à la température t' . En se refroidissant une partie de cette vapeur se condense, abandonnant son calorique latent à la paroi froide.

Comme le mouvement de la vapeur dans l'appareil provient de l'acte même de la condensation qui provoque l'arrivée de vapeur nouvelle pour remplacer celle qui est condensée, comme cette vapeur arrive à la pression p , qu'elle tend à prendre au contact de la paroi la contre-pression p' , c'est donc en définitive la différence $(p - p')$ qui sollicite les molécules de vapeur à s'approcher de la paroi.

La vitesse avec laquelle une molécule de vapeur prendra la place de la précédente sera donc :

$$V = \sqrt{2g(p - p')}$$

D'autre part, il est évident que l'espace parcouru par une molécule de vapeur qui prend la place d'une molécule condensée est égal à l'espace laissé libre par cette vapeur condensée. Or nous ne connaissons pas le volume de la molécule de vapeur, mais nous connaissons le volume spécifique v qui lui est proportionnel ; si donc n est le nombre de molécules inconnu contenu dans v , on aura pour l'espace parcouru par la molécule :

$$E = \frac{v}{n}$$

Si alors dans la formule $E = VT$ on remplace E et V par les valeurs ci-dessus, on a :

$$T = \frac{v}{n \sqrt{2g(p - p')}}$$

Enfin, dans un appareil, si K est la quantité de vapeur condensée par mètre carré et par degré de chute dans le temps T , dans l'unité de temps la quantité de vapeur condensée sera :

$$\frac{K}{T} \quad \text{ou} \quad K n \frac{\sqrt{2g(p-p')}}{v}$$

par conséquent, la quantité de vapeur e condensée dans un appareil de surface S , avec une chute de température c , sera dans l'unité de temps :

$$(1) \quad e = \frac{S \cdot c \cdot K n \sqrt{2g(p-p')}}{v}$$

Telle est la formule générale de la condensation dans laquelle nous connaissons tout excepté Kn , dont nous rechercherons plus loin la valeur.

DISCUSSION DE LA FORMULE.

De la formule (1) on tire :

$$(2) \quad e^2 = 2g(S \cdot c \cdot K n)^2 \times \frac{(p-p')}{v^2}$$

Si l'on construit la courbe de la condensation e en considérant S , c , Kn comme constants, seule la tension p de la vapeur de chauffage changeant, e et $\frac{(p-p')}{v^2}$ sont deux variables et la formule représente une courbe parabolique. Quand p augmente, $(p-p')$ augmente et v diminue. La valeur $\frac{(p-p')}{v^2}$ augmente donc considérablement pour un petit accroissement de p . Et, en effet, quand on construit cette courbe, elle se présente sous la forme d'une parabole dont la courbe est très rapide.

C'est ce qui explique pourquoi, sans changer la chute de chaleur totale d'un appareil, on peut augmenter son évaporation en augmentant la pression de la vapeur de chauffage.

Cela explique aussi pourquoi, dans les appareils à effets multiples, les chutes de chaleur sont d'autant plus grandes que l'on approche davantage de la dernière caisse d'évaporation où la tension de la vapeur est très faible.

Cela explique encore les divergences des résultats obtenus par les différents expérimentateurs. Si les nombres fournis par Thomas et Laurens ne sont pas concordants avec ceux fournis par les appareils d'évaporation, ni même concordants entre eux, c'est parce que, dans chaque

cas, la vapeur de chauffage était à des pressions différentes avec des chutes très variables,

Enfin, cela donne encore l'explication des déboires qu'ont éprouvés les ingénieurs qui ont voulu construire des condenseurs à surface pour des vapeurs détendues en se servant des données fournies par les précédents expérimentateurs; c'est parce que dans ce cas, v étant très grand, e devient très petit.

Ecrivons encore la formule (1) sous la forme :

$$(3) \quad K = \frac{e}{Sc} \times \frac{v}{n \sqrt{2g(p-p')}} \quad \text{ou} \quad = \frac{e}{Sc} \times T$$

K est donc la condensation par mètre carré et par degré de chute, multiplié par le temps qui est nécessaire pour que la condensation s'opère, dans les conditions de chauffage.

Comme, dans un appareil d'évaporation à effets multiples, on peut considérer sans beaucoup d'erreur que la condensation est égale dans chaque caisse dans le même temps, comme aussi nous avons vu dès le début que $\frac{Sc}{V}$ ou bien $\frac{Sc}{T}$ ou enfin $\frac{T}{Sc}$ étaient aussi égaux d'une caisse à l'autre, il en résulte que K doit être aussi égal dans chaque caisse du même appareil. C'est, en effet, ce que l'on remarque dans les appareils bien construits.

Il en résulte aussi, en considérant la formule (3), qui si dans les caisses d'un appareil à effets multiples on a c , S , $\frac{v}{c}$ égaux, $(p-p')$ doit être égal dans chaque caisse. C'est, en effet, ce que l'on remarque encore. Mais si les condensations e ne sont pas égales, $\sqrt{2g(p-p')}$ sera proportionnel à e .

Ces calculs montrent donc comment, en relevant la marche d'un appareil, on peut s'assurer de son bon fonctionnement.

De tout cela il résulte que si nous comparons deux appareils à triple-effet ayant au premier corps $\frac{e}{Sc}$ égal, ainsi que $(p-p')$, mais dont les vapeurs de chauffage soient à des températures différentes, ou v différent, on trouvera alors que dans ces appareils K est proportionnel à v . Donc, dans un triple effet, K est d'autant plus grand que la température de la vapeur de chauffage est plus basse.

Cette remarque est très importante, car elle nous permettra de faire exactement le calcul des appareils, puisque le point de départ de ces calculs est la température de la vapeur de chauffage du premier corps.

Connaissant K pour toutes les températures, nous en tirerons toutes les autres inconnues du problème.

VALEUR DE K .

Remarquons que dans toutes ces formules le nombre n , qui est constant et inconnu, nous gênera toujours pour établir la valeur de K que nous cherchons. Nous allons alors dans la formule (3) faire passer n dans le premier membre, et nous aurons ainsi, non plus la valeur de K que nous ne pouvons connaître à cause de n , mais la valeur proportionnelle de Kn . Si nous posons $Kn = k$, nous aurons :

$$(4) \quad k = \frac{e}{S c} \times \frac{v}{\sqrt{2g(p-p')}}.$$

C'est sur cette formule que nous raisonnerons dorénavant.

Que devient k lorsque l'on change la température de la vapeur de chauffage ?

Supposons un appareil chauffé avec de la vapeur de volume spécifique v , ayant une force élastique p , on aura k d'après la formule (4).

Si l'on chauffe le même appareil avec de la vapeur de volume spécifique v_1 , ayant une force élastique p_1 , en supposant $\frac{e}{S c}$ constant, et le liquide chauffé à la même température, soit p' constant, on a :

$$k_1 = \frac{e}{S c} \times \frac{v_1}{\sqrt{2g(p_1-p')}}.$$

Si l'on fait le rapport de k_1 à k et qu'on en tire la valeur de k_1 , on a :

$$k_1 = k \frac{v_1 \sqrt{p-p'}}{v \sqrt{p_1-p'}}.$$

Remarquons que précédemment nous avons fait observer que :

$$\frac{v_1}{v} = \frac{V}{V_1} = \frac{\sqrt{2g(p-p')}}{\sqrt{2g(p_1-p')}} = \frac{\sqrt{p-p'}}{\sqrt{p_1-p'}}.$$

On peut donc écrire :

$$(5) \quad k_1 = k \left(\frac{v_1}{v} \right)^2$$

Telle est la valeur de k_1 en fonction de k . Si donc nous connaissons une valeur de k nous pourrons en déduire toutes les autres.

Remarquons d'ailleurs que dans cette formule, k_1 et v_1 sont variables, k et v constants. Si nous l'écrivons sous la forme

$$v_1^2 = \frac{v^2}{k} k_1$$

on aura la formule d'une parabole. En traçant cette courbe, nous aurons les coefficients k de tous les appareils, quelle que soit la température de la vapeur de chauffage.

Nous avons supposé $\frac{e}{Sc}$ constant dans les appareils que nous comparons. Si cette valeur est différente, la formule (5) précédente devient :

$$(6) \quad k_1 = k \frac{\left(\frac{e}{Sc}\right)_1}{\left(\frac{e}{Sc}\right)} \left(\frac{v_1}{v}\right)^2$$

Telle est la formule générale qui va nous permettre de trouver le coefficient d'un appareil dans tous les cas, et de comparer les données fournies par tous les expérimentateurs.

Pour nous servir de la formule (5) ou de la formule (6), il nous faut une valeur de k certaine.

L'un des appareils dont la marche a été la plus correcte parmi ceux que nous avons eus entre les mains est le triple-effet de la sucrerie de Brazey-en-Plaine (Côte-d'Or). Ce triple-effet, construit anciennement par la maison Cail, a trois corps égaux et a été modifié par le système Rillieux qui en fait un très bon appareil, d'un pouvoir évaporatoire considérable.

Comme k est égal pour les trois caisses, ainsi que nous le faisons observer précédemment, nous n'avons eu qu'à en rechercher la valeur dans une des caisses, la première par exemple.

Dans cette caisse on avait :

$\frac{e}{Sc} = 3,84$ kg d'eau condensée par mètre carré et par degré de chute de température, et :

$$\frac{v}{\sqrt{2g(p-p')}} = 41,26$$

Donc $k = 3,84 \times 41,26 = 158,5$.

Cette valeur de $k = 158,5$ correspond à la température de $111^{\circ},85$. Elle s'accorde bien avec la marche de tous les autres appareils, et permet d'appliquer la formule (5) ou la formule (6).

Si, par exemple, nous nous reportons aux anciennes expériences de

Thomas et Laurens, dont nous parlions au début de ce travail, nous trouvons que, dans l'une, où la vapeur de chauffage est à 135°, la valeur k tirée des données mêmes de l'expérience est de 83,26. L'application de la formule (6) donne $k = 84,26$, différant donc très peu des résultats pratiques. Au sujet de ces différences, il ne faut pas oublier que les expériences de Thomas et Laurens ont été faites sur des appareils industriels dont les éléments ne sont pas bien déterminés, et surtout en ne tenant qu'un compte approximatif de la température de la vapeur de chauffage qui n'était évaluée que d'après les indications des manomètres.

C'est ainsi que, dans une seconde expérience de Thomas et Laurens où la vapeur de chauffage était « à une pression de deux atmosphères et à 121° », on trouve, d'après les données de l'expérience, $k = 187,44$. Notre formule (6) indique que k devrait être égal à 197°,5. Il suffirait qu'au lieu de 121° on ait de la vapeur à 118° environ dans les serpentins pour avoir une valeur de k beaucoup plus rapprochée de celle fournie par la formule (6), et rien dans les données de l'expérience n'empêche de supposer cette approximation. Les chiffres que nous obtenons sont donc assez rapprochés de la pratique pour montrer la concordance réelle de nos formules.

Ces formules permettent donc d'expliquer les écarts considérables que l'on observe dans le rendement des appareils d'évaporation, écarts que nous signalions au commencement de ce travail ; elles permettent aussi de calculer exactement dans tous les cas possibles le pouvoir évaporatoire des appareils, et de résoudre le problème inverse.

Tel était le but que nous nous proposons au début de ce travail.

Terminons en disant que ces formules s'appliquent aux appareils d'évaporation et aux appareils de chauffage par la vapeur indistinctement, mais que la valeur de k que nous avons donnée n'appartient qu'aux appareils d'évaporation.

Conséquences du travail précédent. — Il résulte d'abord de ce travail que lorsqu'on calcule un appareil, il faut avant tout se fixer deux points principaux, soit la température de la vapeur de chauffage puis celle de la vapeur qui se rend au condenseur. Ces points sont essentiels aux formules, puisque c'est d'eux que dépend la valeur de k . Mais il en résulte aussi que c'est la température de la vapeur de chauffage qui est de beaucoup la plus importante. En effet dans la formule qui donne la valeur de k , le facteur variable

$$\frac{v}{\sqrt{2g(p-p')}}}$$

ne contient en numérateur que la valeur v qui appartient à la vapeur de chauffage, tandis que dans le dénominateur les éléments des deux vapeurs extrêmes ne se trouvent qu'en différence, $(p-p')$ encore sous un radical, $(\sqrt{p-p'})$.

Donc, avant tout, il faut se rendre un compte exact de la pression dont on pourra disposer pour la vapeur de chauffage initial, et, suivant cette pression, calculer le coefficient de l'appareil pour trouver la surface de chauffe nécessaire pour effectuer le travail proposé.

Une autre conséquence est que l'on pourra augmenter le travail de l'appareil en augmentant sa chute de température, c'est-à-dire en augmentant la pression de vapeur de chauffage ou le vide au condenseur, ou les deux ensemble. Mais il n'est pas indifférent pour obtenir une certaine augmentation de travail que cette augmentation de chute provienne de la vapeur de chauffage ou de celle qui est envoyée au condenseur, puisque c'est la valeur des éléments physiques de la première qui influe le plus sur la valeur de k . Donc on fera faire beaucoup plus de travail à un appareil en augmentant la pression de la vapeur de chauffage, procurant ainsi une augmentation de chute déterminée, qu'en obtenant la même augmentation en forçant sur le vide du condenseur.

De même, de deux appareils semblables marchant avec la même chute, celui qui fera le plus de travail sera celui dont la température de chauffage sera la plus élevée.

Ce fait, que nous avons observé depuis longtemps, était resté inexpliqué jusqu'au jour où les formules sont venues nous en révéler la cause.

Connaissant ainsi les lois de la condensation, nous allons étudier maintenant comment les calories qui en résultent se transmettent au liquide chauffé.

§ 6. — Transmission de la chaleur à travers les parois des appareils d'évaporation et de chauffage.

Si la condensation s'opérait telle que l'indique la théorie, on aurait d'après Pécelet, une transmission de 69.000 calories par heure, par mètre carré, par différence de 1° de température, sur une paroi en laiton de 1 millimètre d'épaisseur, soit environ 103 kilogrammes de vapeur condensée.

Or l'expérience prouve que l'on n'a guère au maximum que 4 kilogrammes au lieu de 103, et l'on constate que la condensation s'abaisse à 1,5 dans certains cas. C'est une énorme différence dont nous allons rechercher les causes.

L'une des premières causes, la plus tangible, et la plus connue par conséquent, provient des incrustations qui se forment sur les tubes, dans les appareils tubulaires.

Ces incrustations sont de deux sortes : celles qui existent à l'extérieur des tubes, et celles qui naissent à l'intérieur.

Dans les appareils verticaux, dans lesquels le liquide à chauffer circule à l'intérieur des tubes, si l'on examine ceux-ci après service, on remarque que l'extérieur, la surface qui est mouillée par la vapeur condensée, est noircie par une mince épaisseur d'oxyde de cuivre. L'intérieur au contraire, si bien nettoyé qu'il soit, est toujours blanc de dépôt.

Dans les appareils horizontaux c'est le contraire. N'examinons que les appareils verticaux.

Si la conductibilité du cuivre est 69, celle de son oxyde n'est que de 1,76, soit 39 fois moindre. Donc si l'épaisseur de la couche d'oxyde n'est que $\frac{1}{39}$ de celle du cuivre, elle produit le même retard à la transmission que si le tube était double d'épaisseur.

Si l'on considère par exemple un tube de 1,5 millimètre d'épaisseur, la couche d'oxyde qui équivaldra à l'épaisseur du métal sera de $\frac{1,5}{39} = 0^{\text{mm}},038$ soit 38 millièmes de millimètre, soit moins de 4 centièmes de millimètre en chiffres ronds. Or comme il est facile de voir que la couche d'oxyde atteint une épaisseur mesurable, peut-être $\frac{1}{20}$ de millimètre, on voit que l'oxyde de cuivre rend de ce fait la transmission du tube environ 2,5 fois moindre que celle admise en principe.

Quant à l'incrustation calcaire, si l'on admet pour son coefficient de transmission celui du marbre, qui est également 1,76, comme son épaisseur varie énormément, on voit qu'elle diminue la transmission du métal de 5 à 40 fois sa valeur, et si l'on y ajoute le retard dû à l'oxyde, le métal ne conduit plus que 7,5 à 42,5 fois moins que s'il était parfaitement et théoriquement décapé. Si l'incrustation est siliceuse c'est encore bien pire, le coefficient du verre étant environ 0,80.

Aussi avons-nous vu des appareils avec tubes en fer marcher aussi bien que d'autres avec tubes en laiton, la nature du métal étant peu de chose eu égard aux incrustations qui recouvrent ses deux faces.

Remarquons que, dans la première caisse d'un appareil, l'incrustation extérieure est encore moins conductrice que la couche mince d'oxyde que nous venons de considérer, attendu que la vapeur des retours des machines transporte toujours avec elle une quantité de graisse considérable, sans compter le minium des tuyaux et autres impuretés cueillies au passage. Dans ce premier corps il n'est pas rare de rencontrer des

incrustations extérieures tellement épaisses que la condensation s'arrête pour ainsi dire complètement. Le cas du premier corps lui est tout à fait spécial, et nous ne nous y arrêtons que pour le signaler en passant.

Nous ne considérons pas non plus le cas d'un tube fortement encrassé à l'intérieur, chacun sachant que dans ce cas l'appareil s'arrête de lui-même, et que l'on se voit forcé de le nettoyer.

Une autre cause moins connue et inévitable, est celle qui provient de la condensation même. Le tube est toujours *mouillé* par la condensation, et la vapeur se condense non pas au contact du tube lui-même, mais au contact de la couche d'eau qui l'enveloppe. Or cette couche a une épaisseur relative assez grande, car la capillarité qui la retient à la surface est une force relativement élevée.

Si l'on pèse un tube de cuivre non décapé sec, puis mouillé, on trouve en effet que l'épaisseur du liquide qui la recouvre est d'environ 2 dixièmes de millimètre.

Comme la conductibilité de l'eau stagnante est, d'après Cauchy, de 0,425, tandis que celle du laiton est de 69, soit 162 fois moindre, une épaisseur de 0^{mm},2 d'eau équivaut à une épaisseur de métal 21,6 fois plus grande que celle du tube lui-même, soit $21,6 \times 1,5 = 32^{\text{mm}},4$.

Cette quantité ajoutée aux précédentes réduit donc de 30 à 60 fois et plus la conductibilité du métal. Donc au lieu de 103 kilogrammes de vapeur théorique condensée, on tombe à 3^k,4 et même 1^k,7.

Par conséquent même en ne considérant que le fait des incrustations normales et du mouillage des tubes, on tombe déjà aussi bas que la pratique l'indique. Et cependant il y a encore une cause que nous allons étudier.

§ 7. — Réception du calorique par le liquide en ébullition.

C'est la troisième phase du phénomène de l'évaporation des liquides dans les appareils.

Péclet, qui a déterminé le coefficient de conductibilité des métaux mouillés par un liquide, ne put obtenir le chiffre réel de la transmission de la chaleur à travers ses plaques métalliques qu'en renouvelant 1.600 fois par minute le contact du liquide avec les faces de la plaque métallique, soit environ 27 fois par seconde.

Dans un appareil d'évaporation ou de chauffage a-t-on un renouvellement du liquide analogue ? C'est ce que nous allons examiner.

Dans la théorie de la condensation, nous avons trouvé que K (quantité de vapeur condensée par mètre carré et par degré de chute dans un temps déterminé) était variable avec la nature de la vapeur de chauffage,

et que le coefficient k qui en dérive, était différent pour les appareils d'évaporation et les appareils de chauffage.

La raison de cette dernière différence provient de ce que le calorique ne se transmet pas de la même manière de la paroi de chauffage au liquide dans les deux cas.

Quand un liquide est en ébullition, des bulles de vapeur se forment contre la paroi, s'échappent rapidement, remplacées immédiatement par du liquide à la même température qui entre lui-même en vapeur ; tandis que dans les réchauffeurs le liquide est animé d'une vitesse due à une action dynamique extérieure, beaucoup plus lente que celle que procure l'évaporation. Il faut remarquer aussi que dans le premier cas il y a échange poids à poids, entre la vapeur de chauffage et le liquide en évaporation, des 537 ou 540 calories qu'abandonne la vapeur condensée, tandis que, dans le second, chaque kilogramme de vapeur condensé abandonne le même nombre de calories au liquide chauffé, mais sur une bien plus grande masse de liquide, en sorte que pour que la condensation se fit avec la même rapidité il faudrait que le liquide fût animé d'une vitesse bien plus grande que dans le cas de l'évaporation, ce qui n'est pas.

En effet, nous verrons plus loin, lorsque nous considérerons la différence qui existe entre les appareils verticaux et horizontaux, que la vitesse de translation du jus dans les tuyaux verticaux au moment de l'ébullition est :

$$v = m \sqrt{2gh}$$

h étant la hauteur du tuyau, et m un coefficient de frottement égal à 0,6 pour l'eau. Si nous calculons v pour un tuyau de 1^m,200 nous trouvons :

$$v = 2^m,900$$

On voit donc déjà que l'on est loin de renouveler 27 fois par seconde le liquide à la surface du tube, comme le faisait Pécelet puisqu'on ne le fait qu'un peu plus de 2 fois.

Dans les réchauffeurs les plus perfectionnés la vitesse est encore moindre, car elle dépasse rarement 60 centimètres !

Mais il est difficile d'évaluer mathématiquement la différence que cette faible vitesse procure sur l'évaporation et le chauffage d'autant plus que le chiffre 27 donné par Pécelet résulte de la forme de son appareil et qu'il n'est pas prouvé qu'avec tout autre système on soit obligé d'adopter le même nombre ; elle explique seulement pourquoi les résultats pratiques sont inférieurs à la théorie, et pourquoi un réchauffeur ne peut pas avoir le même coefficient de travail qu'un appareil d'évaporation de même forme.

Nous allons néanmoins étudier tous les phénomènes qui se passent dans la transmission du calorique aux liquides, c'est-à-dire les lois de l'évaporation proprement dite. Ensuite nous rattacherons les formules que nous allons trouver à celles déjà énoncées de la condensation qui nous fourniront la formule générale de l'évaporation dans les appareils.

§ 8. — Vaporisation des liquides.

Dans un appareil d'évaporation il y a plusieurs modes d'emploi de la vapeur à considérer.

Le liquide entre dans l'appareil à la température t , et il s'évapore à la température θ , t pouvant être plus petit ou plus grand que θ .

Si t est $< \theta$, il faut dépenser une quantité de vapeur q pour échauffer le liquide, puis une quantité de vapeur q' pour l'évaporer, en sorte que la quantité totale de vapeur employée est :

$$Q = q + q'$$

Il faut donc rechercher pour cet appareil la surface de chauffe nécessaire à ce travail, et ramener q et q' à ce qu'ils devraient être pour que ce travail se fasse dans l'unité de temps.

Si au contraire t est $> \theta$, le jus arrive à une température plus élevée que celle de l'ébullition, et s'évapore jusqu'à ce qu'il revienne à la température θ . Alors on a :

$$Q = q' - q''$$

Enfin si $t = \theta$ on a aussi $Q = q'$.

Nous allons étudier ces différents cas, et rechercher d'abord la valeur de q' , la plus intéressante au point de vue de l'évaporation.

Supposons P de jus à θ° . La vapeur qui se condense sur la paroi de chauffage évapore p kilogrammes d'eau. Soit q' la quantité de vapeur nécessaire. En se condensant elle apporte d'après la formule de Régnault :

$$[A + (B - 1) T] q' \text{ calories}$$

T étant la température de la vapeur de chauffage, et q' en se condensant formant de l'eau à la température T .

D'autre part p en se vaporisant à θ° emporte :

$$(A + B \theta) p \text{ calories}$$

Il reste un poids de jus concentré égal à $(P - p)$.

A l'origine il y avait dans le liquide $(P c \theta)$ calories, c étant sa chaleur spécifique.

Il reste après l'évaporation $[(P-p)c\theta]$ calories.

Les calories apportées par la vapeur qui se condense augmentées de celles que contenait le liquide doivent former un nombre égal à celui des calories qui restent dans le liquide, augmentées de celles qui sont parties en vapeur. Donc on a l'égalité :

$$\begin{aligned} \text{d'où} \quad & [A + (B-1)T] q' + Pc\theta = (A+B\theta)p + (P-p)c\theta \\ & q' = \frac{p[A + (B-c)\theta]}{A + (B-1)T} \end{aligned}$$

Il faut introduire maintenant dans cette formule la quantité K de chaleur transmise par la paroi dans l'unité de temps.

Si S est la surface de chauffe, il est évident que l'on aura :

$$\begin{aligned} \text{d'où} \quad & S = \frac{q'}{K(T-\theta)} \\ & q' = K S (T-\theta) \end{aligned}$$

Donc on aura :

$$\begin{aligned} \text{d'où} \quad & \frac{p[A + (B-c)\theta]}{A + (B-1)T} = K S (T-\theta) \\ (1) \quad & S = \frac{p[A + (B-c)\theta]}{K[A + (B-1)T](T-\theta)} \end{aligned}$$

Telle est la formule qui donne la surface de chauffe nécessaire à un appareil pour évaporer un poids p d'eau sur un jus à θ° avec de la vapeur à T° .

Cette formule est fonction de K.

Or dans notre travail sur la condensation nous avons trouvé la formule :

$$k = \frac{e}{S c} \times \frac{v}{\sqrt{2g(p-p')}} \quad \text{d'où} \quad S = \frac{e}{c \frac{k}{v} \sqrt{2g(p-p')}}$$

Comme ces formules ont été faites dans un autre ordre d'idées, les lettres de la seconde ne correspondent pas à celles de la première. Nous allons donc remplacer dans cette seconde les lettres par celles qui servent à désigner les différentes valeurs du problème de la vaporisation, et nous aurons la nouvelle formule :

$$S = \frac{q'}{(T-\theta) \frac{k}{v} \sqrt{2g(\pi-\pi')}}$$

or nous avons précédemment :

$$S = \frac{q'}{K(T - \theta)}$$

Si l'on compare ces deux dernières équations, on voit que puisqu'elles représentent la même valeur de S il faut que

$$K = \frac{k}{v} \sqrt{2g(\pi - \pi')}$$

Substituant cette valeur de K dans la formule (1) on a la formule générale qui donne la surface de chauffe nécessaire à une chaudière d'évaporation,

$$(2) \quad S = \frac{p[\Lambda + (B - C)\theta]}{\left[\frac{k}{v} \sqrt{2g(\pi - \pi')}\right] \left[\Lambda + (B - 1)T\right] (T - \theta)}$$

dans laquelle nous avons déterminé antérieurement la valeur de K pour une vapeur saturée à T° et à pression π et volume spécifique v , ces trois termes se trouvant dans les tableaux ayant trait aux vapeurs, aussi bien que π' correspondant à la température θ .

Cette formule est absolument générale pour l'évaporation.

Mais les jus entrent rarement dans un appareil à la température correspondante à leur ébullition sous le vide y existant. Il arrive toujours ou plus chaud ou plus froid. On se trouve alors dans les cas dont nous parlions plus haut où l'on a $t \leq \theta$.

On doit donc introduire dans la formule les éléments constituant les phénomènes de refroidissement ou d'échauffement du liquide entrant dans les caisses, et former deux formules nouvelles correspondant à ces deux cas et répondant aux besoins de la pratique.

1^{er} cas : $\theta > t$. t étant la température du liquide entrant, ce liquide s'échauffe aux dépens de la vapeur pour passer de t à θ .

P de jus prennent P ($\theta - t$) c calories pour s'échauffer à θ . Ces calories sont fournies par la condensation du poids q de vapeur abandonnant

$$q[\Lambda + (B - 1)T] \text{ calories}$$

Il y a donc égalité entre ces deux quantités

$$P(\theta - t)c = q[\Lambda + (B - 1)T]$$

d'où

$$q = \frac{Pc(\theta - t)}{\Lambda + (B - 1)T}$$

Ajoutons comme précédemment la notion du temps nécessaire pour effectuer l'opération.

D'abord l'influence de la nature des parois de chauffage, soit le coefficient K .

Quoique le chauffage s'effectue dans des conditions plus défavorables que l'évaporation en thèse générale, pour le cas présent nous emploierons le même coefficient, parce que le liquide froid arrive au sein du liquide chaud qui est en mouvement, mouvement auquel il s'associe immédiatement. De plus, le liquide froid se trouve noyé immédiatement dans une grande quantité de liquide chaud, et son échauffement se fait aux dépens du liquide, molécule à molécule, en sorte que l'abaissement de température de toute la masse est faible, et $(\theta - t)$ pour toute la masse est un nombre très petit.

Nous adopterons donc la même valeur de $K = \frac{k}{v} \sqrt{2g(\pi - \pi')}$ sans trop d'erreur.

Il y a cependant à ajouter le temps nécessaire à cet échauffement ; car, d'après la loi de Newton, ce temps est proportionnel à l'excès de température du corps chauffant sur le corps chauffé.

En effet, le temps nécessaire pour chauffer P est d'autant plus grand qu'il y aura plus de chaleur à produire, ce qui est évident, et s'exprime en disant que la vitesse de l'échauffement est inversement proportionnelle à l'excès de température de la vapeur de chauffage sur la température moyenne de la masse P avant l'évaporation.

Par conséquent ce n'est pas q qui doit marcher dans les formules, mais une fonction de q ramenant l'échauffement du jus à l'unité de temps. Appelons-la $f(q)$.

Soit $\left(\frac{t + \theta}{2}\right)$ la température moyenne du jus. La chaleur abandonnée par la vapeur est :

$$\left(T - \frac{t + \theta}{2}\right)$$

Soit encore $(T - \theta)$ l'excès de température de la vapeur sur celle du jus bouillant. Il faudra donc condenser dans l'unité de temps :

$$f(q) = q \frac{T - \theta}{T - \frac{t + \theta}{2}} = \frac{P C (\theta - t) (T - \theta)}{[A + (B - 1)T] \left[T - \frac{t + \theta}{2}\right]}$$

Cette valeur ajoutée à q' obtenue précédemment donnera la valeur totale Q de la vapeur nécessaire pour produire le chauffage et l'évaporation, et par conséquent la surface de chauffe :

$$S = \frac{Q}{K (T - \theta)}$$

Mais il faut y ajouter encore un élément provenant de la forme des chaudières tubulaires d'évaporation, qui comportent par mètre carré de surface de chauffage un volume V, ou plutôt un poids VD de liquide, poids constant dans tous les appareils de même forme. Ce volume dans les appareils verticaux est en moyenne de 0 hect. 266, de sorte que le poids du liquide contenu dans une chaudière est de :

$$P = S \times 0,266 \times D$$

exprimé en centaines de kilos.

Si donc on substitue cette valeur de P dans l'expression précédente, et que l'on donne à Q sa valeur [$f(q) + q'$], introduisant le tout dans la formule générale au 1^{er} cas :

$$S = \frac{p \cdot [A + (B - C)\theta] \left[T - \frac{t + \theta}{2} \right]}{(T - \theta) \left[\frac{k}{v} \sqrt{2g(\pi - \pi')} \left(T - \frac{t + \theta}{2} \right) [A + (B - 1)T] - 0,266(\theta - t) D C \right]}$$

S est la surface en mètres par hectolitre de jus travaillé dans l'unité de temps.

2^{me} cas : $\theta < t$. Le jus entrant chaud abandonne des calories, P de sirop perdent donc P(t - θ) c calories, correspondant à l'évaporation de $\frac{PC(t - \theta)}{A + BT - \theta}$ kilogrammes d'eau.

On n'aura donc plus à évaporer sur le liquide entrant que

$$p - \frac{DC(t - \theta)}{A + BT - \theta} \text{ kilogrammes d'eau.}$$

Substituant à p dans la formule [2] cette nouvelle valeur, avec la correction $P = S \times 0,266 D$, on trouve, toutes corrections faites :

$$S = \frac{p [A + (B - C)\theta] (A + BT - \theta)}{\frac{k}{v} \sqrt{2g(\pi - \pi')} [A + (B - 1)T] (A + BT - \theta) (T - \theta) + (A + B\theta) (t - \theta) 0,266 DC}$$

§ 9. — Application des formules.

Remarque I. — Avant de commencer nous ferons plusieurs remarques.

Dans la première chaudière, le jus arrive toujours plus froid du bac d'attente, ou même des réchauffeurs, que celui qui y est en ébullition ;

on est donc dans le 1^{er} cas, car il doit se réchauffer aux dépens de la vapeur de chauffage.

Dans les autres, le jus venant de la chaudière précédente doit se refroidir en abandonnant de la vapeur. On s'y trouve donc dans le 2^{me} cas.

Si l'on considère la formule fondamentale $S = \frac{Q}{K(T-\theta)}$ mise sous la forme :

$$S = \frac{\frac{Q}{k} \sqrt{2g(\pi - \pi') (T - \theta)}}{v} = \frac{Q v}{k \sqrt{2g(\pi - \pi') (T - \theta)}}$$

on voit que l'on rendra S aussi petit que possible en rendant v et Q aussi petits que possible et (T - θ) aussi grand que possible, (π - π') suivant le sort de (T - θ).

Pour rendre (T - θ) aussi grand que possible, il faut augmenter T, ce qui diminue en même temps v, et il faut diminuer θ.

Mais si l'on diminue θ sur une chaudière, on diminue T et l'on augmente v sur la suivante ; ou bien si l'on augmente T sur une chaudière on aura augmenté θ et diminué v sur la précédente. Il faudra donc prendre une juste mesure, et *équilibrer* les températures dans les différentes chaudières, c'est-à-dire prendre la somme de calorique que l'on pourra fournir à l'ensemble des chaudières, et le diviser en autant de parties qu'il y a de chaudières, proportionnellement aux variations de v.

On voit déjà que comme v augmente suivant une courbe du genre parabolique, la division de la somme des caloriques suivra elle-même une courbe dans le même sens, chaque fraction allant en augmentant de la première à la dernière caisse. Nous verrons plus loin comment on fera ce calcul d'après la théorie de la condensation.

Remarque II. — La formule précédente peut s'écrire sous la forme :

$$S K \frac{(T-\theta)}{v} = \frac{Q}{\sqrt{2g(\pi - \pi')}}$$

or nous avons vu que dans un appareil à effets multiples k est constant pour chaque caisse, de même pour $\frac{(T-\theta)}{v}$, et que Q est proportionnel à $\sqrt{\pi - \pi'}$.

Par conséquent comme S est fonction de tous ces facteurs qui sont égaux d'une caisse à l'autre d'un même appareil, S doit être égal pour chaque caisse.

Donc pour qu'un appareil soit bien constitué il faut faire toutes les caisses égales.

Cependant comme les jus arrivent tantôt froids, tantôt chauds dans les caisses, comme aussi l'évaporation n'est pas tout à fait égale comme nous le verrons plus loin, que les chaleurs spécifiques sont différentes aussi, nous ferons néanmoins le calcul complet d'un appareil pour connaître quelle différence existe entre la pratique et la théorie.

Remarque III. — Pour calculer les densités du jus dans les différentes caisses nous avons établi la formule donnant le degré Brix de ces jus au fur et à mesure de la concentration. Voici donc (fig. 103) l'équation donnant le degré Brix d'un sirop après évaporation d'un jus de degré Brix connu (Bulletin de l'Association des Chimistes de sucrerie 13 mars 1886).

Si l'on appelle b le degré Brix d'un jus faible, b' le degré Brix de ce jus après évaporation, l'eau évaporée s'obtient de la manière suivante :

$(100 - b)$ est l'eau contenue dans le jus faible.

$(100 - b')$ est l'eau contenue dans le sirop après l'évaporation.

Mais comme après l'évaporation la quantité de matière solide contenue dans le sirop est la même que celle qui était contenue dans le jus, c'est-à-dire b , alors l'eau contenue dans le sirop pour b de matière solide sera $\frac{(100 - b')b}{b'}$ et l'eau évaporée que nous appellerons x sera :

$$x = (100 - b) - \frac{(100 - b')b}{b'}$$

d'où l'on tire :

$$(1) \quad x = 100 \left(1 - \frac{b}{b'}\right)$$

Telle est la formule qui donne l'eau évaporée pour passer du degré Brix b au degré Brix b' .

De l'équation (1) on tire :

$$b' = b \frac{100}{100 - x}$$

Si l'on pose $\frac{100}{100 - x} = y$ on n'aura qu'à multiplier b par y pour avoir le Brix b' correspondant à une quantité d'eau x évaporée.

En développant la nouvelle équation :

$$(2) \quad \frac{100}{100 - x} = y$$

On a :

$$(3) \quad xy - 100y + 100 = 0$$

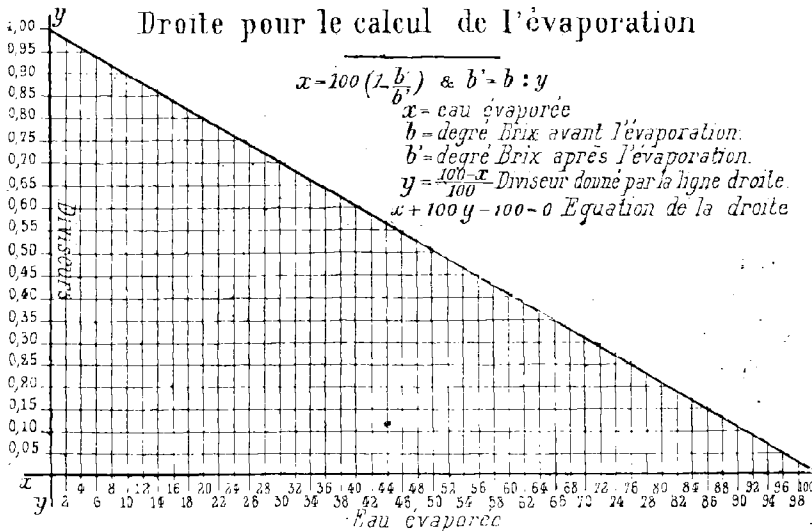
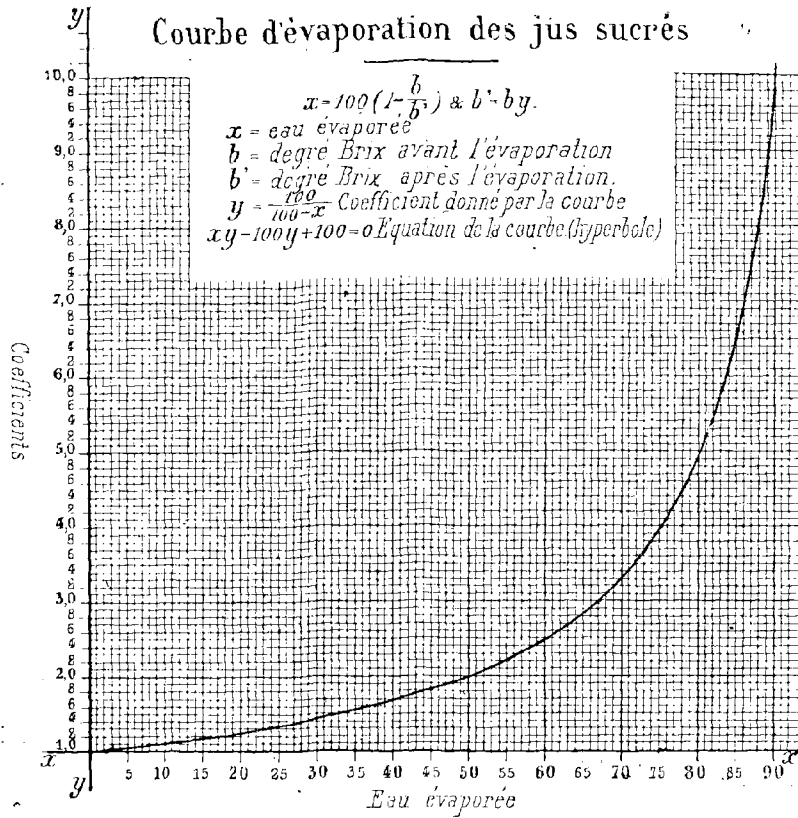


Fig. 403.

C'est l'équation d'une hyperbole équilatère rapportée à des parallèles à ses asymptotes. Si dans la formule (2) on fait $x = 0$ on a $y = 1$; c'est un des points de l'hyperbole qui permet de la construire.

Pour se servir de cette courbe, si l'on veut savoir le Brix d'un jus dont on évapore x d'eau, on cherche x sur l'axe des x , on élève en ce point une parallèle à l'axe des y et le point d'intersection de cette ligne avec la courbe donne le coefficient par lequel il faut multiplier b pour avoir b' .

De l'équation (1) on peut encore tirer la nouvelle équation :

$$b = b' \frac{100 - x}{100}$$

Si l'on y pose :

$$(4) \quad \frac{100 - x}{100} = y$$

On a, en développant l'équation (4)

$$(5) \quad x + 100y - 100 = 0$$

qui est celle d'une ligne droite dont un point sur l'axe des y est 1 quand $x = 0$ et un autre point sur l'axe des x est 100 quand $y = 0$. Cette ligne est donc très facile à construire.

On voit que dans ce cas $b = b'y$ ou bien $b' = \frac{b}{y}$, et que y est le diviseur par lequel il faut diviser b pour avoir b' .

L'usage de cette ligne est le même que celui de la courbe précédente à la différence près qu'on a un diviseur au lieu d'un multiplicateur. Mais les résultats donnés dans les deux cas sont naturellement identiques. On choisira l'un des deux tracés suivant l'usage qu'on en veut faire.

Remarquons, au moyen de l'hyperbole, la progression rapide que prend le Brix d'un sirop quand il arrive à son dernier degré de concentration. Si l'on veut, par exemple, évaporer 80 % de l'eau d'un jus à 10° Brix, le premier tiers de l'évaporation ne portera le jus qu'à 4° Brix environ, le deuxième tiers à 22° Brix, et le troisième à 50° Brix. On voit donc qu'au commencement de l'évaporation le degré Brix est très long à monter, mais qu'ensuite il augmente très rapidement jusqu'au point de cuite.

La forme de la courbe explique ce phénomène. On peut ainsi calculer rapidement le degré Brix des jus dans chaque chaudière d'évaporation d'un appareil à effets multiples quelconques, problème que l'on a souvent à résoudre.

Le problème a été établi différemment par Boire, administrateur des sucreries de Bourdon, et il est arrivé à une autre formule donnant les mêmes résultats, et d'une façon peut-être plus pratique, parce que la courbe qu'il donne est une branche d'hyperbole.

Soit D le poids d'un hectolitre de liquide; e la teneur en eau par 100 kilogrammes de liquide; 1,60 la densité du sucre; on a :

$$D = \frac{1600}{100 + 0,6 e}$$

formule qui est exacte pour une solution de sucre pur.

Le lieu géométrique de D est représenté par une branche d'hyperbole limitée par e variant de 0 à 100.

Pour $e = 0$ on a du sucre pur; pour $e = 100$ on a $D = 100$, c'est-à-dire de l'eau pure.

Cette formule peut être appliquée aux solutions sucrées des fabriques, le non-sucre ayant une densité qui, dans l'ensemble, diffère peu de celle du sucre. Donc, connaissant l'une ou l'autre des inconnues, poids de l'hectolitre, ou teneur en eau du liquide, on peut trouver l'autre.

Si l'on veut appliquer la formule aux masses cuites, on remarque que la teneur en eau est comprise entre 5 et 15 % c'est-à-dire entre des limites telles que la branche d'hyperbole qu'elle représente peut être considérée comme une ligne droite. Alors, en transformant la formule, et en faisant $D = 100 + d$ (d devenant le degré densimétrique) on obtient :

$$d = 60 - 0,9 e$$

formule beaucoup plus simple et qui se vérifie dans la pratique. Exemple : la teneur en eau de 100 kilogrammes de masse cuite premier jet étant de 6, on aura

$$d = 60 - 0,90 \times 6 = 54,6$$

Toutes ces formules sont établies pour des degrés densimétriques d correspondant à la densité de l'eau = 100, c'est-à-dire à 4° de température. Il faudra donc dans la pratique corriger d suivant la température de la masse cuite. Par exemple à 15° la formule devient :

$$d = 59,84 - 0,9 e$$

De même l'hyperbole a, dans ce cas de 15°, la formule :

$$D = \frac{16000}{100 + 0,6 e} - 0,16$$

On remarquera que si au lieu de rapporter les formules au sucre on les établissait en fonction des matières dissoutes non-sucre de densité de 160, elles deviendraient :

$$D_4 = \frac{16000}{100 - 0,6 m} \quad D_{45} = \frac{16000}{100 - 0,6 m} - 0,16$$

$$d_4 = 0,9 m - 30 \quad d_{45} = 0,9 m - 29,84$$

Ces formules très intéressantes sont employées couramment dans les usines de la Société Bourdon.

Remarque IV. — Les chaleurs spécifiques correspondant aux différentes densités du jus sont les suivantes :

DENSITÉS.	CHALEURS SPÉCIFIQUES.
1	1
1,0685	0,9
1,1370	0,8
1,2055	0,7
1,2740	0,6
1,3425	0,5

Ces indications sont suffisantes pour les différents cas où nous nous trouverons, d'autant plus que les jus varient de composition suivant les années et les époques de travail dans la même année, on ne peut fixer de limites exactes pour ces nombres.

Remarque V. — Nous avons fait nos calculs en supposant que l'on avait un poids P à réchauffer qui devient $(P - p)$ après l'évaporation dans la première chaudière ; ensuite $(P - p)$ passe dans la deuxième chaudière et devient $(P - p - p')$ qui passe dans la troisième, etc. Ce n'est pas ainsi en réalité que fonctionne l'appareil. Le jus est animé d'un mouvement continu et le volume reste constant dans chaque chaudière. Mais le phénomène se passe sur des fractions de poids dont la somme est égale à P et qui sont représentées par le filet de jus qui passe par le robinet d'alimentation dans un temps donné. Mais le raisonnement n'en est pas moins juste ; car si l'on a une fraction de $P, \frac{P}{n}$, elle donnera $\frac{p}{n}$ de vapeur et son volume se réduira finalement à $\frac{P - p}{n}$ qui ne contiendra plus que $\frac{(P - p) C \theta}{n}$ calories, etc. Si l'on répète n fois ce raisonnement, toutes les fois que le robinet débitera un poids de jus

égal à $\frac{P}{n}$ pouvant être aussi petit que l'on veut, on arrivera, en dernier lieu, à formuler le même résultat qu'en considérant d'un bloc la masse tout entière.

Remarque VI. — Lorsque l'on évapore un jus sucré au moyen d'une source de chaleur constante, à mesure que le liquide se concentre on remarque qu'il faut un plus long temps pour produire l'évaporation. Ainsi dans une expérience de laboratoire, nous avons observé que 1 kilogramme de jus, pour passer de 5° à 12° Baumé, correspondant à l'évaporation de 0^k,500 d'eau, a pris 12 minutes.

1 kilogramme de sirop pour passer de 12 à 24°, soit 0^k,500 d'eau évaporée, a pris 14 minutes.

1 kilogramme de sirop, pour passer de 24° à la cuite, soit 0^k,570 d'eau évaporée, a mis 45 minutes et 48 secondes.

Plusieurs raisons concourent à provoquer cette augmentation de temps dans l'évaporation, et entr'autres celle-ci : c'est que, à mesure que la concentration des sirops s'accroît, sa température d'ébullition augmente. Ainsi tandis que l'eau bout à 100°, le sirop, à une densité de 1,265, bout à 105° environ et au point de cuite à 114°. Nous avons construit une courbe donnant pour chaque densité les températures d'ébullition correspondantes. Plusieurs auteurs avaient déjà fourni quelques nombres isolés donnant les températures de la cuite, comme Payen et Dutrône, ou celles de l'ébullition des sirops comme Flourens. Nous avons recherché la courbe complète jusqu'au point où les aréomètres ne marquent plus. A ce moment, les sirops cristallisent par le refroidissement : c'est le point moyen des températures de cuite indiquées par Payen. La figure 104 donne, outre la nôtre, les courbes des températures fournies par Dutrône et Payen. Notre courbe a été faite avec un jus de betterave provenant de la fonte d'une masse cuite de composition suivante :

Sucre	79,75
Glucose.	0,18
Cendres	5,55
Eau.	5,50
Inconnu	9,02
	100,00

Avec des jus chargés de glucose, comme celui qui proviendrait de la fonte d'un sucre de cannes contenant beaucoup de sucre interverti, la courbe se place à droite comme celle de Dutrône, avec un départ brusque de 100 à 102° environ. En effet, la courbe du sucre interverti parallèle

dans toute la partie ascendante avec celle du sucre pur, offre de grandes divergences dans la partie moyenne provenant de la nature même de

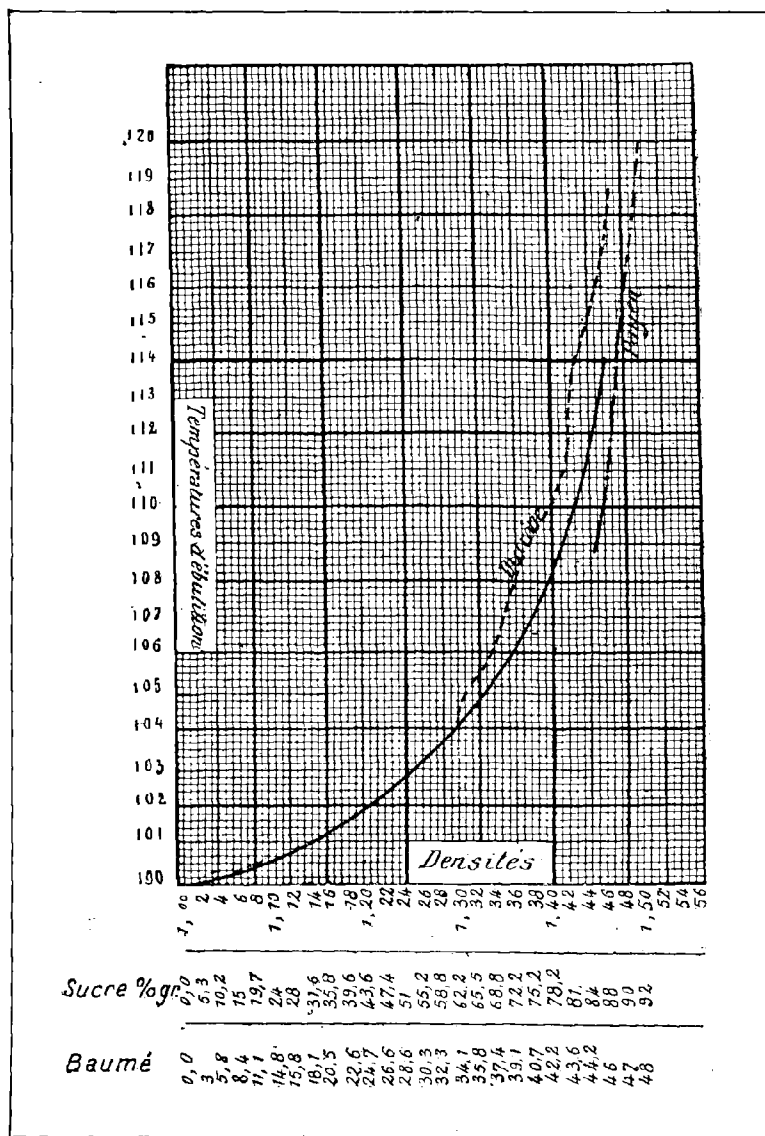


Fig. 104

ce sucre ; nous n'avons pas besoin d'entrer ici dans la théorie des causes de ces divergences. La courbe du sucre pur qui se confond dans

les hautes températures avec celle que nous donnons, est, vers 102 et 103°, un peu plus rejetée sur la droite.

Au moyen de cette courbe, dans l'application des formules, on pourra donner à θ sa véritable valeur moyenne dans tous les cas.

Remarque VII. — Dans un appareil d'évaporation à effets multiples la température des vapeurs va en diminuant d'une caisse à l'autre. Mais il faut remarquer qu'en même temps les chaleurs latentes augmentent, d'après la formule

$$r = 606,5 - 0,695 t$$

Par conséquent 1 kilogramme de vapeur de chauffage de la première caisse ne peut pas produire 1 kilogramme de vapeur dans la seconde caisse. Si par exemple la chaleur latente de la vapeur du ballon est 527, celle du premier corps 534, il est évident que 1 kilogramme de vapeur chauffant le premier corps ne produira que $\frac{527}{534} = 0^k,986$ de vapeur dans le deuxième corps.

Un appareil marchant normalement nous a fourni les nombres suivants :

1 kilogramme de vapeur à 112° de température évapore :

	Kil.
Dans le 1 ^{er} corps	0,986
— 2 ^e —	0,969
— 3 ^e —	0,939
Total	2,894

Donc 1 kilogramme de vapeur de retour n'évapore que 2^k,894 et non 3 kilogrammes comme nous l'avons supposé dans nos calculs généraux. Ces nombres vont nous être utiles dans un instant.

Remarque VIII. — La première chose à faire, pour calculer un appareil, c'est de chercher la chute de température qu'il faudra employer dans chacune des caisses pour les faire bouillir, ces chutes, comme nous l'avons fait remarquer précédemment, ne pouvant pas être égales entre chaque corps.

Reprenons la formule générale de la condensation :

$$K = \frac{e}{SC} \times \frac{v}{\sqrt{2g(p-p')}}$$

Cette formule sera la même pour chaque caisse ; et si nous supposons un appareil à n effets multiples à chaudières égales, dans lequel l'éva-

poration est sensiblement égale dans chacune de ces caisses, k égal par conséquent dans toutes ; si P est la pression de la vapeur initiale, on aura :

$$\frac{e}{SC} \times \frac{v}{\sqrt{2g(P-p')}} = \frac{e}{SC'} \times \frac{v^1}{\sqrt{2g(p-p')}} = \frac{e}{SC^{(n-1)}} \times \frac{v^{(n-1)}}{\sqrt{2g(p^{(n-2)} - p^{(n-1)})}}$$

on voit que $(P - p^{(n-1)})$ est la différence de pression disponible.

Nous avons remarqué d'autre part que dans un semblable appareil cette pression disponible doit être divisée en n parties égales, car ce n'est pas la chute de chaleur mais la différence de pression d'une caisse à l'autre qui devra être égale pour chaque caisse.

Dès lors, considérant les tables de température correspondant à $(p - p')$ on aura, de ce fait la température de la vapeur dans chaque caisse.

Si à ces températures on ajoute les différences indiquées dans la remarque V précédente pour le point d'ébullition des jus aux différentes densités, on aura la température d'ébullition du jus correspondant.

D'ailleurs notre série d'égalités devient, en éliminant les quantités égales, $e, S, (p - p')$:

$$\frac{v}{c} = \frac{v'}{c'} = \frac{v^{(n-1)}}{c^{(n-1)}}$$

Comme nous l'avons déjà reconnu précédemment, les chutes sont proportionnelles aux volumes spécifiques des vapeurs.

Cependant si nous tenons compte de l'observation que l'évaporation n'est pas tout à fait égale dans chaque caisse, calculons ce que deviendront les chutes dans ce cas.

Nous avons vu que, dans le triple-effet pris pour exemple, les évaporations sont respectivement de

$$0,939 \quad 0,969 \quad 0,986$$

faisant un total de $2^k,894$ d'eau évaporée dans un triple-effet par kilogramme de vapeur employée dans la première caisse.

D'autre part si l'on met la formule de la condensation sous la forme :

$$e = \frac{Sck\sqrt{2g(p-p')}}{v}$$

on voit que e est proportionnel à $\sqrt{2p-p'}$ ou e^2 à $(p-p')$; donc la pression de la vapeur dans chaque caisse est proportionnelle au carré de l'évaporation.

Si donc dans notre triple-effet nous avons une pression P dans les re-

tours égale à une demi-atmosphère, ou 155 kilogrammes par décimètre carré, et une pression $p'' = 20$ kilogrammes dans la troisième caisse, correspondant à une température de 60° dans le condenseur, $(P - p'')$ sera partagé proportionnellement au carré de l'évaporation, et on aura dans chaque caisse et dans les retours les pressions correspondantes :

20	62,6	108,1	155
----	------	-------	-----

correspondant aux températures :

60	86,5	101,25	112
----	------	--------	-----

Volumes spécifiques correspondants :

7900	2680	1630	1200
------	------	------	------

Les chutes apparentes sont donc :

26,5	14,75	10,75
------	-------	-------

Dont nous devons retrancher les différences de température d'ébullition du jus suivant la remarque V pour obtenir les chutes réelles, qui deviennent dès lors :

23,5	14,25	10,50
------	-------	-------

Et les quotients des volumes spécifiques par les chutes réelles sont :

114,3	114,3	114,3
-------	-------	-------

Vérifiant exactement la loi de la condensation.

Remarque IX. — Nous avons donc tous les éléments nécessaires pour calculer un appareil d'évaporation si compliqué qu'il soit. Ce dernier point, le calcul des chutes, était jusqu'à ce jour tout à fait inconnu. C'est pour établir la valeur de ces chutes que nous avons dû faire tout ce travail sur la condensation et la plupart de ceux qui précèdent.

On voit donc combien on se trouve éloigné maintenant de l'idée primitive, admise généralement par les ingénieurs et donnée par nous-même dans notre première édition, de l'égalité des chutes entre toutes les caisses, erreur funeste qui a retardé longtemps le progrès dans la construction des appareils d'évaporation, et que j'ai été le premier à combattre dès le jour où je n'ai plus accusé les appareils de mal fonctionner, mais moi-même de ne pas comprendre leur marche.

Les appareils doivent être nos éducateurs. Toute perturbation dans leur marche a une cause physique. Si nous voulons les forcer à suivre notre fantaisie, nous sommes dans l'erreur tant que nous ne touchons pas à la cause même de la perturbation constatée.

On a voulu longtemps forcer les appareils à avoir des chutes égales, et l'on a accumulé tuyauterie sur tuyauterie pour y arriver, sans s'apercevoir que ces transformations étaient autant d'hérésies qui n'avaient pour résultat que de perdre de la vapeur et diminuer l'effet utile des appareils.

Aujourd'hui les triple-effets, quadruple-effets, quintuple-effets, sextuple-effets mêmes, sont des appareils fort simples et marchant bien, en dépit du décret des anciennes maisons de construction qui prétendaient qu'un quadruple-effet ne pourrait jamais fonctionner. Et, de fait, jamais ils n'auraient pu fonctionner entre leurs mains ; et aujourd'hui même les idées préconçues sont tellement enracinées dans l'esprit de beaucoup de fabricants et constructeurs, que, lorsqu'ils ont un bon appareil entre les mains, ils sont persuadés qu'il ne marche pas bien, parce qu'ils ne retrouvent pas aux manomètres les températures qu'ils désireraient y voir !

Laissons donc de côté toutes ces fantaisies, et allons de l'avant dans l'étude de la construction des appareils pour qu'ils aient le maximum de rendement, avec une marche absolument normale, quelles que soient les oppositions que nous pouvons rencontrer sur notre chemin. Les appareils nous donnent raison, c'est tout ce que nous pouvons désirer.
