

Maison FARCOT, fondée en 1823

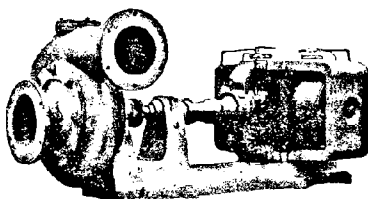
JOSEPH FARCOT

SAINT-OUEN (Seine)

—
1855 — 1867

1878

GRANDS PRIX



—
1889

HORS CONCOURS

POMPES CENTRIFUGES PERFECTIONNÉES

Envoi franco du Catalogue

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

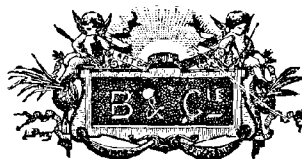
TRAITÉ
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE LA
FABRICATION DU SUCRE
DE BETTERAVE

PAR

PAUL HORSIN-DÉON

INGÉNIEUR-CHIMISTE

DEUXIÈME VOLUME



PARIS

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

1900

CHAPITRE DEUXIÈME

CALCUL D'UN APPAREIL D'ÉVAPORATION A TRIPLE-EFFET TRAVAILLANT
4.000 HECTOLITRES DE JUS PAR 24 HEURES

§ 1. — Données générales.

Nous allons calculer comme exemple les éléments d'un appareil à triple-effet évaporant 4.000 hectolitres de jus concentrés à 80 pour cent, faisant par conséquent 800 hectolitres de sirop, la différence 3.200 hectolitres étant l'eau évaporée dans les trois caisses. Supposons la vapeur de chauffage à 112° et celle qui va au condenseur à 60°, et la densité du jus initial à 1,041, soit Brix 10°.

Prenons les chutes de température, les points d'ébullition des liquides tels que nous venons de les déterminer, et à tous ces éléments ajoutons ceux qui ont rapport à la densité moyenne des liquides dans les trois corps, les chaleurs spécifiques correspondantes, les indications manométriques des appareils. Nous aurons le tableau suivant :

Nos des chaudières	Manomètre en centimètres de mercure	π pression de la vapeur en kil. par déc. carré	P Eau évaporée par hectolitre	D Densité moyenne	C Chaleur spécifique	Θ Température des liquides	T Température de la vapeur	V Volume spécifique de la vapeur
3	— 61	20	25,9	1,233	0,60	63	60	7900
2	— 30	62,6	26,8	1,090	0,90	87	86,5	2680
1	+ 3,5	108,1	27,8	1,034	0,95	101,5	101,25	1630
ballon	+ 38	155	,	,	,	,	112	4200

Nous supposerons le jus initial à 80° centigrades, alors on aura pour les trois caisses, en commençant par la troisième, la valeur de t égale à :

$$87 \qquad 101,5 \qquad 80$$

Donc, dans la première caisse on a $t < \theta$.

Introduisons les nombres ci-dessus dans la formule, on a :

$$S = \frac{27,3 [606,5 + (0,305 - 0,950) 101,5] \left[112 - \frac{80 + 101,5}{2} \right]}{(112 - 101,5) \left[\frac{158,5}{1200} 4,43 \sqrt{155 - 108,1} \left(112 - \frac{80 + 101,5}{2} \right) [606,5 + (0,305 - 1) 112] - 0,266(101,5 - 80) 1,054 - 0,95 \right]}$$

D'où l'on tire pour la valeur de la surface nécessaire pour le travail de 1 hectolitre par heure :

$$1^{\text{re}} \text{ Caisse } S = 0^{\text{m}},670$$

Dans la deuxième et la troisième caisse on a $t > \theta$.

En appliquant la formule du deuxième cas à ces deux caisses, on trouve :

$$2^{\text{e}} \text{ Caisse } S = 0,716$$

$$3^{\text{e}} \text{ Caisse } S = 0,708$$

On constate ici une certaine différence entre les surfaces des caisses qui, théoriquement, devraient être égales.

Ces différences tiennent aux chaleurs spécifiques des jus dont nous n'avions pas tenu compte dans nos comparaisons antérieures et qui font que la troisième caisse est plus petite que la deuxième.

Quant à la première il ne faut pas s'étonner qu'elle soit un peu plus petite que les autres, quoi qu'ayant à réchauffer les jus, car la condensation par mètre carré y est beaucoup plus active.

En effet, le terme $\frac{k}{v} \sqrt{2g(\pi - \pi')}$ est égal pour le premier corps à 4, pour le deuxième corps à 2,67 et pour le troisième corps à 1,70. Cette remarque est fort intéressante puisqu'elle montre la différence d'évaporation par unité de degré de chute de chaque corps séparément.

La moyenne de ces trois surfaces est de $0^{\text{m}},700$ par hectolitre de jus évaporé, ce qui correspond à l'évaporation de 11,5 hectolitres par mètre carré, par 24 heures, en triple-effet. C'est le travail normal d'un triple-effet, qui abaisse cependant son évaporation à 10 hectolitres en moyenne à cause des incrustations.

On voit que nous retombons ici en plein travail pratique, ce qui prouve que les formules donnent des résultats industriels sur lesquels on peut se fier.

Si nous prenons cette moyenne de $0^{\text{m}},700 \times 3 = 2^{\text{m}},10$ par hectolitre travaillé, pour $\frac{4.000}{24} = 166,66$ hectolitres par heure il nous faudra 350 mètres carrés en trois corps égaux. Nous admettrons 400 mètres d'après ce que nous venons de dire.

§ 2. — Calcul des éléments de l'appareil.

Dans l'établissement d'un triple-effet, on devra s'inquiéter surtout du meilleur mode de répartition de la vapeur dans la partie tubulaire, et de la régularité dans les évacuations. On devra assurer au mouvement des vapeurs dans la tuyauterie générale le plus d'instantanéité possible. Quand on construit une machine à vapeur, on s'attache à donner à l'admission et à l'évacuation des vapeurs les plus grandes facilités, et l'on fait de larges issues. Dans une chaudière de triple-effet, on doit rechercher à produire la plus grande quantité de vapeur possible dans le même temps, et la condensation la plus rapide possible de ces vapeurs, laquelle condensation s'effectuera soit dans la partie tubulaire de la caisse suivante, agissant comme condenseur à surface, soit dans le condenseur au bout de l'appareil. Plus rapide sera la condensation sur les condenseurs à surface, plus grande sera la production de vapeur; ces deux termes se tiennent donc. Or pour arriver à produire une condensation rapide des vapeurs, il faut que la tuyauterie d'échappement soit aussi large que possible pour que les frottements mettent le moins de retard possible dans l'acte de la condensation, imitant en cela ce que l'on fait dans les machines à vapeur à basse pression. C'est ce que nous avons recherché dans nos calculs.

Nous prendrons toujours l'exemple d'un triple-effet ordinaire, capable d'évaporer 4.000 hectolitres de jus par vingt-quatre heures.

Nous avons supposé précédemment une évaporation de 80 % du jus, et nous avons trouvé que les chaudières devraient avoir chacune 133^m,33.

Sur 4.000 hectolitres, on aura donc à évaporer 320.000 kilogrammes d'eau par vingt-quatre heures, ou 13.333 kilogrammes d'eau par heure. Chaque chaudière aura à évaporer 4.444 kilogrammes d'eau par heure, ou environ 1,23 par seconde.

La température dans les différentes parties de l'appareil étant de 112° dans le ballon, 101°,25 dans la première caisse, 86°,5 dans la deuxième, et 60° dans la troisième, sous les pressions correspondantes, 1 kilogramme de vapeur occupera :

Dans le ballon . . .	1.200 litres et 1 ^m ,23 occupera environ	1.500 litres.
— la 1 ^{re} caisse . . .	1 630	— 2.000 —
— la 2 ^e — . . .	2.680	— 3.300 —
— la 3 ^e — . . .	7.900	— 9.700 —

Nous ne chercherons pas à modifier la forme générale de l'appareil. Nous allons seulement calculer les dimensions de la tuyauterie générale. Nous admettons comme vitesse moyenne de la vapeur dans les tuyaux, 30 mètres, et pour celle des liquides 3 mètres par seconde.

Conduites de vapeur. — Les conduites de vapeur doivent être calculées de telle sorte que, coudes et frottements compris, la vitesse du fluide soit inférieure à 30 mètres. On devrait calculer même autant que possible sur 20 et 25 mètres pour que les sections soient suffisantes dans le cas où l'on ferait travailler davantage l'appareil.

Connaissant la quantité de vapeur produite dans une chaudière, et la section du tuyau de dégagement de ces vapeurs, on a la vitesse réelle d'écoulement en se servant de la formule :

$$(1) \quad v = \frac{Q}{S \times m}$$

dans laquelle :

Q = volume en litres de la vapeur qui s'échappe par seconde du tuyau. —

S = section du tuyau exprimée en décimètres carrés.

v = vitesse réelle d'écoulement exprimée en décimètres.

m = coefficient dont la valeur est ici sensiblement = 0,8.

En traversant les tuyaux, la vapeur éprouve une perte de charge due au frottement, et qui s'exprime par la formule :

$$(2) \quad P - p = p \frac{KL}{D}$$

$$\text{d'où } \frac{p}{P} = \frac{1}{1 + \frac{KL}{D}}; \quad \text{or } \frac{p}{P} = \frac{v^2}{V^2}, \quad \text{donc } \frac{v^2}{V^2} = \frac{1}{1 + \frac{KL}{D}}$$

$$(3) \quad \text{donc } v = V \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{KL}{D}}}$$

Dans ces formules :

P = excès de pression de la chaudière sur la pression de la chaudière suivante, ou sur la pression atmosphérique dans la dernière caisse.

Elle se compte en retranchant de 76 centimètres le nombre que marque l'indicateur du vide. Elle est exprimée en centimètres.

p = charge qui correspondrait à la *vitesse réelle* d'écoulement v, s'il n'y avait pas de frottement (en centimètres). En retranchant p de 76 on a le vide qu'indiquerait le manomètre s'il n'y avait pas de frottement.

v = vitesse réelle d'écoulement, comme dans la formule (1) mais exprimée en mètres.

V = vitesse théorique.

L et D = longueur et diamètre de la conduite.

K = 0,024 (constante) coefficient de frottement.

P — p = perte de charge.

La formule (1) peut s'écrire :

$$Q = m \times S \times v.$$

Or v est exprimé par la formule $v = \sqrt{2gh \frac{\delta}{\delta'}}$ dans laquelle la pression $\left(h \times \frac{\delta}{\delta'}\right)$ est exprimée en une colonne de vapeur équivalente à la colonne mercure indiquée par le manomètre, δ étant la densité du mercure 13,6 et δ' la densité de la vapeur par rapport à l'eau.

On a donc :

$$(4) \quad Q = m S \sqrt{2gh \frac{\delta}{\delta'}}$$

Dans l'application de ces formules, comme on connaît la valeur de Q , on en déduira la section S du tuyau en exprimant que la vitesse d'écoulement doit être égale à 25 mètres, par exemple. Dans la formule (1) on posera $v = 25$ et dans la formule (3) ce sera V qui sera égale à 25. De là résulte que la valeur de S tirée de la première formule se trouve erronée ; S est alors trop petit.

Il faudrait dès lors poser l'équation suivante en donnant à S sa valeur $\frac{\pi D^2}{4}$ et remplaçant dans la formule (1) v par sa valeur de la formule (3).

$$V \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{K L}{D}}} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4} m}$$

$$(5) \quad \text{d'où} \quad Q = \frac{\pi m}{4} \sqrt{\frac{v^2 D^5}{D + K L}}$$

$$(6) \quad \text{et} \quad D = \sqrt[5]{\frac{16 Q^2 (D + K L)}{\pi^2 m^2 v^2}}$$

Ces équations étant très complexes, on pourra les résoudre ainsi : poser $v = 25$ dans la formule (1), en tirer la valeur de S et de D , substituer cette valeur de D dans l'équation (3) dans laquelle V sera égal à 25. On en tirera une nouvelle valeur de v que l'on emploiera dans la formule (1) et qui permettra de trouver pour S une valeur suffisamment approchée.

Si l'on veut directement se servir de l'équation (6) on fera de même. On supposera $D=1$ sous le radical, et on trouvera une valeur approchée

de D que l'on mettra alors sous le radical. La nouvelle valeur de D sera suffisamment approchée pour nos calculs.

Si la conduite présente des coudes, la formule (3) devient :

$$(7) \quad v = V \sqrt{\frac{1}{1 + A + \frac{KL}{D} + n \sin^2 i}}$$

A est un coefficient de perte de charge dû à la contraction de la veine à l'origine du tuyau. Dans le cas qui nous occupe où nous considérons le mouvement dans un tuyau indéfini, A peut être considéré comme nul.

n est le nombre de coudes, i leur angle.

Si l'on suppose les angles droits, $\sin^2 i = 1$ et l'on a :

$$(8) \quad v = V \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{KL}{D} + n}}$$

Si l'angle est très aigu, on a reconnu que la résistance est le double de celle que présente un angle droit. On aura dans ce cas :

$$(9) \quad v = V \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{KL}{D} + 2n}}$$

La résistance d'un coude droit arrondi est égale à la moitié de la résistance d'un coude à angle droit non arrondi. De même un coude en demi-cercle donne une résistance égale à la moitié de deux coudes droits le remplaçant.

Admettons que le triple-effet qui nous occupe ait les dimensions de l'appareil ordinaire de 4.000 hectolitres, soit :

Distance : Des axes des chaudières	2 ^m ,50
De la troisième chaudière à l'axe de son vase de sûreté	2 ^m ,60
De l'axe des deux autres chaudières à leur vase de sûreté	1 ^m ,80
De l'axe des tuyaux de dégagement au plancher	2 ^m ,85
Du plancher à l'axe de la pompe	2 ^m ,50

Calculons le tuyau de communication du ballon à la première chaudière.

On peut admettre que le tuyau qui relie le ballon à la première chaudière aura 1 mètre avec deux coudes arrondis en comptant la valve comme coude arrondi si elle est bien construite.

D'après la formule (1) on aura comme section du tuyau, sachant le volume de la vapeur égale à 1.500 litres, et la vitesse de la vapeur égale à 25 mètres (ou 250 décimètres) : -

$$250 = \frac{1500}{S \times 0,8} \quad S = \frac{1500}{250 \times 0,8} = 7,50$$

d'où l'on tire $D=0,310$.

Mais dans ce tuyau nous avons deux angles arrondis ; on a donc en introduisant cette valeur de D dans la formule (8) :

$$v = 25 \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{0,024 \times 1}{0,310} + \frac{1}{2}}} = 17,5$$

En substituant cette valeur de 17,5 dans la première formule, on a en dernier ressort pour diamètre de la conduite :

$$175 = \frac{1500}{S \times 0,8} \quad S = \frac{1500}{175 \times 0,8} = 0,1071$$

$$D = 0^m,370$$

Si l'on avait pris $v=20$ on aurait trouvé $D=0,412$.

Ce nombre étant plus grand que celui que l'on adopte ordinairement, nous avons cherché dans les machines à vapeur quelques parties similaires avec lesquelles on pourrait trouver une analogie. Or dans les machines à vapeur à basse pression de la marine, dans les grandes machines à simple-effet, l'échappement des vapeurs, qui se trouvent à une pression analogue à celle que contient le ballon du triple-effet, se fait par des tuyaux généralement très courts et dont la section pour la même quantité de vapeur est de 0,12 et 0,13, soit environ de 40 centimètres de diamètre. Nos calculs concordent donc avec ce qu'une longue pratique a enseigné d'adopter dans les machines marines. Nous sommes donc fondés à penser que nous sommes dans le vrai, et que les constructeurs français de triple-effet ont tous fait le tuyau d'introduction de vapeur du ballon trop étroit.

Si maintenant nous calculons le diamètre du tuyau qui relie la première à la seconde caisse nous trouverons :

$$2500 = \frac{2000}{S \times 0,8} \quad S = \frac{2000}{250 \cdot 0,8} = 10 \quad D = 0,357$$

$$V = 25 \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{0,024 \cdot 4,50}{0,357} + 1}} = 11,12$$

Nous avons appliqué la même formule que pour le précédent tuyau parce que nous avons un angle arrondi au départ de la chaudière, un angle droit pouvant être assimilé à un angle arrondi au bas du vase de sûreté ; quant à l'entrée dans le vase de sûreté, si ce vase est de grandes dimensions, on peut ne pas en tenir compte à la rigueur.

Si donc nous substituons la valeur $v=11,12$ dans la première formule nous avons :

$$111,2 = \frac{2000}{S \times 0,8} \quad S = \frac{2000}{111,2 \times 0,8} = 0,2247$$

Ici il y a une correction à faire. En effet, si le calcul du tuyau de vapeur de retour est bon, nous devons le prendre comme type pour les autres tuyauteries et point de départ de nos calculs.

Or les expériences qui ont été faites autrefois sur les différents gaz prouvent que la vitesse d'écoulement des gaz est en raison inverse de la racine carrée de la densité des gaz employés.

Donc, si nous adoptons une vitesse de 25 mètres pour la vapeur de retour, la vitesse dans les autres tuyaux devra être dans le rapport de $\sqrt{d'}$ à \sqrt{d} , d' et d étant les densités de la vapeur considérée et de la vapeur de retour.

Or dans le cas qui nous occupe $\frac{\sqrt{d'}}{\sqrt{d}} = 0,93$, donc la section 0,2267 devra être corrigée du coefficient 0,93 et deviendra égale à 0,2089 donnant un diamètre de $D=0,515$. La vitesse initiale était donc de $\frac{25}{0,93} = 26^m,8$.

En raisonnant de même pour le deuxième corps on trouverait une vitesse initiale de la vapeur égale à 32 mètres ; et dans le troisième, allant au condenseur, 50 mètres.

Avec ces vitesses les pertes de charge dues au frottement sont les mêmes partout.

D'ailleurs quelques expériences que nous avons faites sur un triple-effet dont les tuyaux d'écoulement de vapeur étaient assez faibles et égaux entre eux pour les trois caisses, nous avaient montré que les pertes de charge qu'éprouvait la vapeur dans son passage par ces tuyaux était sensiblement la même partout malgré l'accroissement de volume dû à la moindre pression barométrique dans chaque caisse, et par conséquent l'accroissement de vitesse proportionnel dans les tuyaux.

En appliquant ces données aux calculs des tuyaux de la deuxième et de la troisième caisse on leur trouve des diamètres de 560 millimètres et 800 millimètres.

On voit l'importance de cette tuyauterie de vapeur, et combien il est intéressant de la simplifier pour éviter les coudes dont nous avons tenu compte ici. En effet si nous ne tenions pas compte des coudes le tuyau allant au condenseur aurait seulement un diamètre de 700 environ, ce qui est une grande différence en section.

Les ralentisseurs, dont nous nous occuperons plus loin, permettent d'obtenir des sections réduites.

Il y a encore un cas à étudier, c'est celui où l'on serait obligé de chauffer un triple-effet avec de la vapeur directe. Le tuyau de vapeur directe calculé comme précédemment aurait pour section et diamètre

$$S = 0,0260 \quad \text{et} \quad D = 0^m,18$$

Ce nombre est le même que celui adopté par la maison Cail pour fournir le même poids de vapeur aux locomotives Crampton, ce qui prouve une fois de plus l'exactitude de nos formules.

CALCUL DE LA POMPE A AIR ET DU CONDENSEUR

La pompe à air devra enlever du triple-effet :

- 1° La vapeur condensée dans la 3^e chaudière.
- 2° L'eau d'injection.
- 3° La vapeur de détente des retours de la 2^e et de la 3^e chaudière quand il n'y a pas de pompe spéciale.
- 4° L'air contenu dans l'eau d'injection soit 1/20 de cette eau.
- 5° — le jus à évaporer, 1/20 de ce jus.
- 6° — la partie vide des 3 chaudières et du condenseur.

L'eau d'injection nécessaire pour condenser la vapeur produite dans les appareils à triple-effet, se calcule au moyen de la formule suivante : (Morin).

$$P = \frac{p(550 + T - T')}{T' - T''}$$

Dans laquelle P représente le poids d'eau nécessaire à la condensation.

- | | | | | |
|---|-------|---|---|--|
| — | p | — | — | de vapeur à condenser. |
| — | T | — | — | la température de la vapeur à condenser. |
| — | T' | — | — | de l'eau dans le condenseur. |
| — | T'' | — | — | injectée. |

Dans l'appareil de 4.000 hectolitres.

$$p = 1^{\text{e}}, 23.$$

$$T = 60^{\circ}$$

$$T' = 55^{\circ}$$

$$T'' = 10^{\circ}$$

(4 ou 5 degrés de moins que la vapeur).

(le plus souvent l'eau est au-dessous de cette température).

$$P = \frac{1,23 (550 + 60 - 55)}{55 - 10} = 15,17$$

Cette quantité est un minimum. De plus comme les vapeurs de l'appareil ne sont pas pures, qu'elles contiennent des gaz incondensables, de l'air, de l'acide carbonique, etc., elles présentent une certaine difficulté à la condensation ; on devra donc pouvoir injecter au moins le double de cette eau, supposons 30 kilogrammes par seconde.

Nous avons vu au début que les jus perdent 0,0112 d'azote par les matières protéiques et 0,0062 par les sels ammoniacaux pendant l'évaporation soit 0,023 d'ammoniaque pour 100 kilogrammes de jus (page 99).

Cette ammoniaque se rend entièrement au condenseur.

4^k,8 de jus que nous évaporons par seconde perdent donc 1^{er},104 d'ammoniaque ; ce poids d'ammoniaque forme dans le condenseur un volume d'environ 10 litres, volume que nous doublerons pour le cas où l'on se trouve en présence de mauvaises betteraves, et pour calculer largement, soit 20 litres.

L'air qui rentre par les fuites est abondant. Autour des glaces, par les robinets, par la pompe d'alimentation de jus, il s'en introduit une grande quantité que les moins pessimistes évaluent à 1/4 pour cent du volume des vapeurs à condenser soit $\frac{0,25}{100}$ de 9.700 = 24,25, mettons 25.

La pompe devra donc enlever :

1° Vapeur à l'état d'eau condensée dans la 3 ^e chaudière.	1,23 litre
2° Eau d'injection	30,00 —
3° Air de l'eau d'injection 1/20 à la pression et à la température du condenseur (voir plus loin)	15,00 — —
4° L'air du jus total, 1/20 de 46,3	2,30 — —
5° Les vapeurs ammoniacales	20 — —
6° L'air provenant des rentrées par les fentes	25 — —
Total	93,53 litres

Cependant une pompe qui ne développerait que ce volume ne pour-

rait aider que très imparfaitement à l'obtention d'un bon vide ; l'expérience l'a démontré maintes fois et la cause en est au mauvais rendement des pompes à air humides en général. Recherchons donc encore dans les machines à vapeur quelle est la dimension que l'on adopte le plus ordinairement.

Il est une règle que l'on admet parfois, c'est que la pompe à air doit avoir un cylindre dont le volume actif soit huit fois celui de l'eau injectée. Si nous adoptons ce chiffre, on aurait comme volume développé par la pompe 260 litres par seconde. Si la pompe fait quarante tours, c'est un volume de 340 litres qu'elle doit avoir. C'est déjà plus grand que ce que l'on emploie généralement dans les triple-effets français. On ne va guère au delà de 300 litres, avec des pompes de 700 de diamètre et 800 de course.

Pour vérifier la règle précédente nous nous sommes reporté aux machines à vapeur les plus modernes celles de l'exposition universelle de 1878 par exemple. En étudiant ces machines, on trouve que le cylindre des pompes à air à double-effet ont un volume moyen de 0,136 du cylindre à vapeur, et les pompes à simple-effet 0,201 de ce même cylindre. Il est assez difficile à comprendre pourquoi les pompes à simple-effet n'ont pas un volume actif double de celui des pompes à double-effet, ce qui prouve que le tâtonnement a toujours guidé dans ces sortes de choses. D'ailleurs nous remarquerons que les constructeurs trouvent les pompes à simple-effet plus efficaces que les autres, ce qui explique peut-être leurs plus faibles dimensions relatives.

Si nous prenons pour nos pompes à double-effet le rapport 0,136, et que nous comparions aux appareils à évaporation, nous remarquerons que 1^k,23 de vapeur qui sort de la dernière caisse occupe, à 105° environ 1.800 litres. Dans une machine à vapeur dont le cylindre enverrait au condenseur, par seconde, 1.800 litres de vapeur à 105°, le cylindre de la pompe à air aurait 244 lit. 8. Si la pompe fait 40 tours par minute, c'est 368 lit. 2 que son cylindre devrait avoir comme volume actif, c'est-à-dire un nombre un peu plus fort mais analogue à celui que nous avons trouvé plus haut.

La moins grande dimension que nous ayons observée parmi ces machines à vapeur donnerait 271 litres, et la plus grande, 448 litres, pour une machine autrichienne.

C'est donc, pour les triple-effets, 11 à 14 fois le volume de l'eau injectée par seconde qui doit être celui de la pompe ; c'est probablement parce que les pompes sont près de moitié trop petites que l'on obtient si peu de vide dans les triple-effets. Prenons donc pour un appareil de 4.000 hectolitres, une pompe dont le cylindre ait environ 400 litres, ou

au moins qui marche assez vite pour développer un volume analogue. On voit donc que la pompe à air n'a guère que 25 % de rendement.

Le *condenseur* est un réservoir dans lequel la vapeur arrive pour se mettre en contact direct avec l'eau. Il faudra donc que son volume soit assez grand pour que la gerbe d'eau puisse se développer, que la vapeur en y arrivant éprouve un certain ralentissement dans son mouvement et permette à l'eau de déployer toute son efficacité. Le diamètre du condenseur devra donc être plus grand que celui du tuyau d'arrivée de la vapeur. Quant à son volume il est difficile à évaluer. Dans les machines à vapeur on donne aux condenseurs le quart du volume du cylindre moteur. Si nous raisonnons comme plus haut nous donnerons donc au condenseur le quart du volume de la vapeur à condenser.

Dans la troisième caisse on a 9.700 litres de vapeur à condenser par seconde. Si la pompe fait 40 tours seulement, elle enlèvera donc l'eau condensée de 19.000 litres de vapeur dont le quart est 4,75 mètres cubes environ ; c'est beaucoup. Si nous calculons sur 1.500 litres, volume de la même vapeur à la pression du ballon, on trouve pour le volume du condenseur 640 litres, ce n'est pas assez.

D'autre part si nous nous rapportons au rapport de la pompe à air au condenseur dans les machines à vapeur, nous voyons que le condenseur doit être sensiblement double du volume de la pompe à air. En faisant de même ici nous obtiendrons 800 litres. Nous préférons, et l'on s'en trouve bien dans les applications, un condenseur de 1 000 à 1.200 litres, soit trois fois le volume de la pompe à air. C'est ce rapport que nous adopterons.

Si l'on prend 1 mètre pour diamètre d'un appareil condenseur cylindrique, sa hauteur sera de 1^m,273 pour 1 mètre cube de capacité. C'est dans cette chambre que s'étalera la gerbe des 30 litres d'eau d'injection.

Nous remarquerons une cause déterminante pour l'emploi de grands condenseurs. En effet, l'eau d'injection contient toujours environ 1/20 d'air dissous ; de plus si elle est calcaire, elle contient une certaine quantité d'acide carbonique qui se dégage sous l'effet du vide et de la chaleur. Mais si nous ne tenons compte que de l'air, 30 litres d'eau contiendront 1 litre 1/2 d'air à la pression atmosphérique, ou, sous la pression de 1/8,6 d'atmosphère : $1,5 \times 8,6 = 12$ lit. 90.

La force élastique de cet air est égale à celle de la vapeur et s'y ajoute. Ce volume devient 15 litres environ en tenant compte de la température, soit moitié de celui de l'eau d'où il provient.

De plus dans tous les appareils on laisse échapper dans le condenseur les vapeurs ammoniacales qui occupent une dizaine de litres, plus

l'air provenant du jus lui-même, ce qui fait en totalité 30 litres de vapeurs non condensables répandus dans le condenseur, par seconde.

Or on donne généralement au condenseur un volume de 300 litres dans lesquels l'eau et les vapeurs non condensables occupent un volume de 60 litres, soit $\frac{1}{5}$ du volume total ! Si le volume du condenseur était de 1.000 litres, les vapeurs non condensables seraient réparties dans un espace trois fois plus grand, et leur influence pernicieuse sur la condensation serait trois fois moindre. C'est pourquoi l'on doit employer de grands condenseurs.

On voit quelle difficulté il y a à déterminer le volume des condenseurs. Nous admettrons donc qu'on doit le rendre aussi grand que possible et au moins trois fois égal au volume-engendré par la pompe à air.

Le tuyau qui amènera l'eau d'injection dans le condenseur devra être d'un diamètre tel que l'eau afflue à l'injecteur avec une vitesse suffisante pour former la gerbe jusqu'en haut du condenseur. On lui laissera prendre alors toute sa vitesse dans la partie qui constituera l'injecteur proprement dit.

Pour faire ce calcul, on emploiera la formule :

$$Q = K S v = \frac{\pi D^2}{4} K v.$$

dans laquelle :

Q est la dépense effective par l'orifice du tuyau,

S — la section du tuyau,

D — le diamètre en décimètres,

v — la vitesse moyenne du liquide,

K — un coefficient de dépense.

Ce coefficient K dépend de la charge du liquide et du diamètre de la conduite. En consultant les tableaux construits à cet effet, on trouvera cette valeur de K. Si nous commençons par chercher la section de l'ajutage ne connaissant pas la vitesse du liquide, nous ne donnerons pas d'abord de valeur à K, quitte à la remplacer ultérieurement dans la formule. On aura donc :

$$30 = \frac{\pi D^2}{4} \times K \times v.$$

or $v = \sqrt{2 gh \frac{\delta}{\delta'}}$ et h est égal à 10 mètres, hauteur de la colonne barométrique, diminuée de la distance du condenseur à la surface de l'eau dans les puits. Si cette hauteur est de 5 mètres h est également de 5 mètres et l'on a, puisque $\delta' = 1$:

$$v = 36,5$$

donc en remplaçant K par 0,60, on aura :

$$30 = \frac{\pi D^2}{4} \times 0,60 \times 36,5$$

d'où $D = 0,153$,

$$S = 0,018385.$$

Dans les machines à vapeur, on trouve pour condenser $1^k,3$ de vapeur $S = 0,013090$, nombre concordant.

Quant à la section des orifices de sortie du liquide de ce tuyau, que cette sortie s'exécute par un cône, une pomme d'arrosoir ou un tuyau perforé de trous, cette section sera sensiblement la même que celle du tuyau proprement dit à cause de la contraction de la veine à la sortie qui affecte le volume de liquide écoulé Q d'un coefficient analogue à K .

On devra donner au tuyau qui amène l'eau au point d'injection une section sensiblement plus grande, pour diminuer les pertes de charge dues au frottement dans les coudes et robinets, afin que l'eau afflue sans difficulté à ce point d'injection.

Calcul du tuyau d'alimentation de jus du triple effet. — Dans ce tuyau, le liquide devra se mouvoir lentement, avec une vitesse de 3 mètres par exemple au maximum. Tout le jus devant passer par là, on aura donc une quantité de liquide de 4 lit. 63 par seconde. On tirera donc son diamètre de la formule :

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} K v$$

Dans laquelle K est sensiblement égal à 0,6, et qui devient :

$$4,63 = \frac{\pi D^2}{4} \times 0,6 \times 3$$

donnant

$$S = 0,0257 \text{ et } D = 0^m,180$$

Ici il n'y aura aucun danger à mettre ce tuyau trop gros, puisque l'entrée du jus dans l'appareil est réglée par une pompe ou un robinet.

Pour les autres tuyaux, on peut prendre des dimensions moindres ou adopter le même diamètre.

Tuyaux divers. — On calculera de la même manière tous les tuyaux d'écoulement d'eau de condensation, de vapeurs ammoniacales, etc. ; nous n'avons pas besoin de nous appesantir sur ces calculs davantage. Seulement nous ferons remarquer, pour tout ce qui est vapeur, que de même que dans les machines à vapeur bien construites on a adopté des conduites de grand diamètre pour que les frottements soient sans in-

fluence et qu'une partie de la force motrice ne soit pas absorbée par des rétrécissements, de même, dans les appareils de sucrerie, on devra employer de grandes issues pour la vapeur, en particulier pour le triple-effet qui est l'engin le plus compliqué de toutes les usines.

§ 3. — Description sommaire d'un triple-effet vertical.

La forme des chaudières de triple-effet est variable avec les constructeurs ; mais elle dérive de deux types principaux ; elles sont horizontales ou verticales. De plus, dans les deux cas, elles peuvent être chauffées par des tubes ou par des serpentins.

Les chaudières Rillieux sont horizontales à tubes. Les chaudières Le Banneur sont verticales à serpentins, et celles que l'on adopte aujourd'hui en France sont verticales à tubes. Nous ne nous occuperons ici que de ces dernières.

Le jus de betterave et certains jus de canne incrustent considérablement les tubes. Aussi a-t-on cherché les appareils dont le nettoyage est le plus facile. Rillieux donna à un Allemand nommé Brami Androea, le même qui envoya en Europe les plans de Rillieux et qui fut cause de ce que ces appareils furent introduits dans nos pays sans que l'inventeur indiquât la manière de les conduire, un croquis de caisse verticale analogue à celles que nous construisons actuellement comme étant la disposition offrant le plus de commodité pour les nettoyages. C'est sans doute ce croquis qui servit à la maison Cail pour construire ses premiers double-effets verticaux (fig. 105 et 106), et qui étaient des double-effets d'évaporation et de cuite, construits exactement sur le modèle des appareils horizontaux de Rillieux (les mêmes lettres dans l'appareil Rillieux indiquent les tuyaux ayant le même usage) A et B est le double-effet d'évaporation, A et C le double-effet de cuite, M le condenseur commun aux caisses B et C. Seulement Cail ignorait que C fût la chaudière de cuite et il en fit une chaudière d'évaporation, c'est ce qui fit que l'on perdit la tradition de la cuite à double-effet.

Les Allemands cependant gardèrent les chaudières horizontales.

Quel que soit le système adopté pour les chaudières, la manière dont se fait l'alimentation du jus, l'extraction du sirop, la vérification du vide et de la température intérieure sont sensiblement les mêmes.

Le vide est mesuré soit par une colonne de mercure faisant fonction de baromètre, soit par un appareil à cadran. Ces manomètres indiquent la différence qui existe entre la pression atmosphérique (76 centimètres ou 28 pouces) et celle de l'intérieur de la chaudière. Si le vide était par-

fait, le manomètre indiquerait la pression atmosphérique du jour, exactement comme un baromètre ordinaire. Si la pression intérieure est la même que celle de l'atmosphère, le manomètre est à 0°. Or, la tension de la vapeur d'eau étant de 76 centimètres à 100°, et diminuant pour devenir voisine de 0 quand la température de la vapeur diminue, lorsque la vapeur sera à 100° le manomètre indiquera 0, et montera à mesure

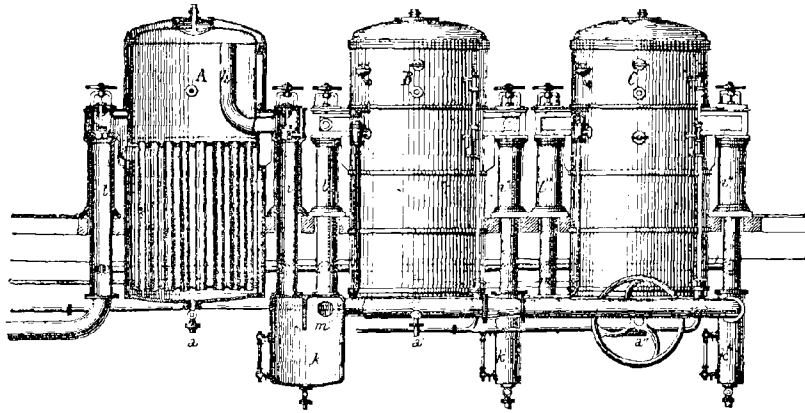


Fig. 405

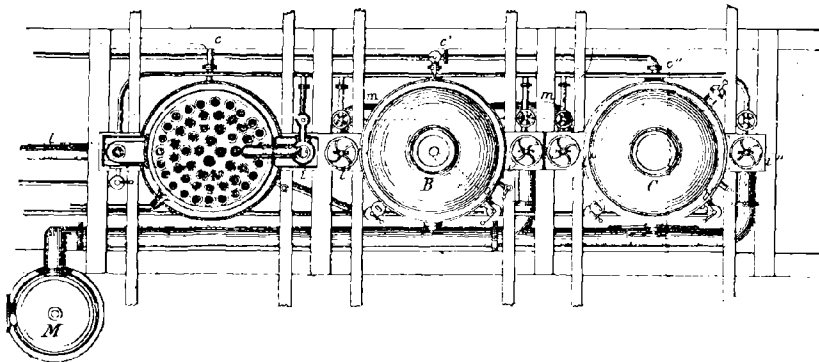


Fig. 406.

que la température baissera. Donc la tension de la vapeur dans l'appareil sera représentée par le nombre obtenu en retranchant de 76 celui qui est sur le manomètre. Comme à chaque tension de vapeur correspond une température déterminée pour l'ébullition de l'eau, le manomètre porte ordinairement à côté du *degré de vide*, la température à laquelle bouerait de l'eau sous la même pression.

Nous indiquerons dorénavant la tension de la vapeur par l'indication manométrique, car l'on s'exprime ordinairement en disant qu'il y a dans l'appareil tant de degrés de vide, expression mauvaise, mais que l'on est obligé de suivre pour se faire comprendre dans les ateliers.

Mais la température d'ébullition du jus n'est pas celle de sa vapeur, car plus le jus est concentré, plus élevé est son point d'ébullition, tandis qu'à la pression atmosphérique la température de sa vapeur est toujours 100°. Ainsi, un jus qui contient 20 % de sucre bout à 100°,5, tandis qu'à 50 % de sucre un sirop a son point d'ébullition à 102°,25 environ, et au point de cuite vers 112 ou 114, comme il est indiqué dans la courbe que nous avons donné à la remarque VI du calcul des appareils (fig. 104). Mais comme la différence entre le point d'ébullition du liquide et la température de la vapeur est constante, au moyen de cette courbe, connaissant la densité du liquide et la tension de sa vapeur, on aura la température d'ébullition du liquide. Cependant il est plus simple d'avoir un thermomètre dans la caisse. On a même construit des thermomètres indiquant en regard la densité du liquide qui bouerait à la température correspondante, en sorte qu'avec l'indication manométrique on en déduit de suite la densité du liquide contenu dans la caisse, sans avoir besoin de prendre la preuve.

Telles qu'on les construit en Europe, généralement, les chaudières verticales de triple-effet (fig. 107) se composent de trois parties principales. Une portion cylindrique en fonte ou en tôle placée verticalement, reposant par un rebord L sur quatre pièces du plancher solidement établies ; cette calandre est fermée à ses deux extrémités par deux plaques de bronze percées de trous et reliées entre elles par plusieurs boulons entre-toises. Ces trous qui sont en nombre égal sur chaque face et placés parfaitement vis-à-vis l'un de l'autre, sont disposés en losange de 66 centimètres de côté, avec 57 centimètres au petit axe. Ils ont 50 millimètres de diamètre sur la plaque supérieure et 46 seulement sur la plaque inférieure. Dans ces trous s'adaptent des tuyaux de laiton étamé de 1^m,50 de longueur en moyenne. On les entre par le haut, on les frappe pour qu'ils pénètrent solidement dans la plaque inférieure, et on les sertit dans la plaque supérieure au moyen d'un petit appareil fort commode connu sous le nom de son inventeur Dudgeon, et que nous décrirons plus loin. La partie inférieure du tube, pour faire joint, est garnie d'une feuille de carton collée. Cette calandre porte latéralement au-dessus du plancher une forte tubulure à bride C, sur laquelle se boulonne un robinet-valve donnant accès à la vapeur de chauffage, qui circule, d'après la forme même de l'appareil, autour des tuyaux.

Les eaux de condensation s'échappent par une petite tubulure infé-

rière en communication dans la première avec un tuyau allant au bac d'alimentation des générateurs et, dans la deuxième et la troisième chaudière, avec une pompe spéciale à cet usage ; on peut faire l'extraction aussi par un tuyau EF partant du centre de la plaque. Sur le parcours de ces tuyaux se placent des extracteurs automatiques pour séparer les gaz et l'eau selon le système Rillieux, comme nous le décrirons plus loin.

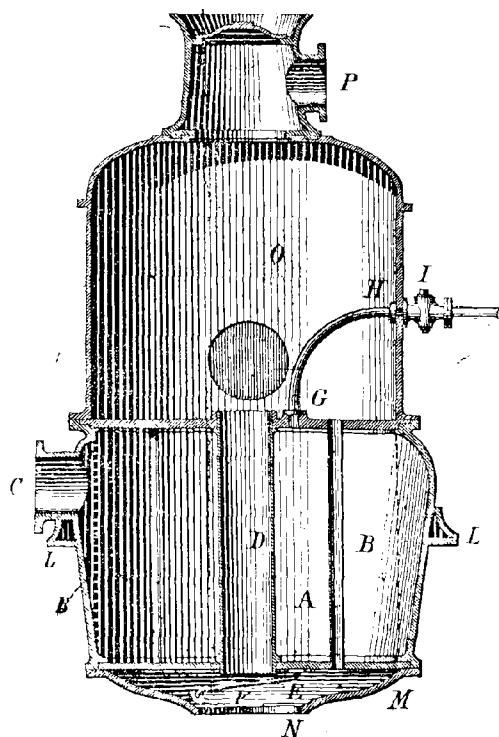


Fig. 107.

De plus, dans les deux dernières chaudières, une *prise de vide* est aussi ménagée à la partie supérieure, ordinairement sur la plaque tubulaire elle-même ; cette prise de vide G sert à évacuer les gaz ammoniacaux qui se dégagent de l'évaporation des jus et s'accumulent sous la plaque supérieure, privant, sans cette précaution, cette partie des tubes de la chaleur de la vapeur d'eau, et par conséquent diminuant la surface de chauffe de l'appareil. De plus, ces vapeurs ammoniacales, en contact prolongé avec les tuyaux de laiton, grâce aussi à l'air qui s'y trouve mélangé, les rongent profondément et les perforent. C'est pourquoi ces

tuyaux sont étamés extérieurement, et cependant ils s'usent rapidement à cette extrémité.

Rillieux a fait installer ces prises de gaz sur la plaque tubulaire de telle sorte qu'elles se réunissent à un collecteur intérieur d'où l'on extrait les vapeurs ammoniacales.

L'appareil Dudgeon dont nous avons parlé, et qui sert à fixer les tubes, se compose d'un cylindre en fer (fig. 108 et 109) de 60 millimètres de long, de diamètre un peu inférieur à celui du tube à sertir. Ce cylindre présente quatre lumières sur presque toute sa longueur, et contre ces lumières qui sont évasées à l'intérieur, et dans l'intérieur du cy-

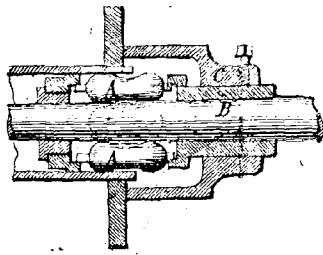


Fig. 108.

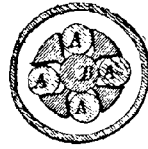


Fig. 109.

lindre, sont disposés quatre petits cylindres A, arrondis en calotte sphérique aux deux extrémités, et légèrement infléchis à leur partie centrale. Ils sont d'ailleurs parfaitement libres de leur mouvement dans l'intérieur du cylindre principal et sont munis aux deux sommets d'appendices les empêchant de sortir par les lumières de plus d'une certaine quantité. Deux viroles munies d'une ouverture centrale de 20 millimètres sont vissées sur les extrémités de l'appareil; l'une d'elle, qui occupe la partie supérieure, se prolonge en un cylindre de 40 millimètres de hauteur également creux. Veut-on sertir un tube, on place ce petit instrument à l'entrée du tube, comme il est indiqué dans la figure, les lumières à la hauteur de la plaque de bronze contre laquelle s'effectuera le serrage; puis on introduit dans le milieu une tige de fer B ayant la forme d'un cône très allongé, et on l'enfonce à coups de marteau au centre des petits cylindres mobiles contre lesquels elle appuie fortement, en la faisant tourner. Dès lors, ces petits cylindres sont pressés contre la paroi intérieure du tube à sertir, et prennent un mouvement de rotation en même temps que la tige de fer. Comme ils sont infléchis dans leur centre, ils modèlent leur forme sur le tube, et en assurent l'adhérence. Une gaine mobile C sur la virole supérieure, et que l'on y fixe avec une vis de pression, sert à limiter la hauteur à laquelle on

veut exercer le mattage. Mais avec un peu d'habitude on s'en passe facilement. Lorsque l'ouvrier sait bien se servir de cet instrument, en essayant les tubes à l'eau par pression on ne trouve pas une fuite.

La calandre se ferme à la partie inférieure par un large couvercle en fonte M (fig. 107) muni d'un trou d'homme N, luté au minium et boulonné. Sur cette première calandre s'en boulonne une autre O de même dimension, mais qui est fermée en forme de cloche à sa partie supérieure. Cette calandre possède en avant sur toute la hauteur d'une génératrice une lumière verticale garnie d'une monture en cuivre encastrant une forte glace qui permet de voir le jeu du liquide et sa hauteur ; en arrière une autre glace ronde de petit diamètre devant laquelle brûle un bec de gaz ou une lampe donne de la lumière dans la chaudière. Sous la main de l'opérateur, en avant, se trouve un appareil en bronze, dit *éprouvette*, permettant, au moyen d'un jeu de robinets, d'extraire une petite quantité du liquide contenu dans la chaudière pour en constater la densité ; ensuite un *robinet à beurre*, espèce de vis à poignée formant le fond d'un entonnoir en bronze dont la douille recourbée se visse dans la calandre, et qui permet l'entrée de corps gras ou autres pour abattre les mousses quand il s'en forme ; puis un manomètre placé à la partie supérieure de la chaudière, et bien en vue ; enfin, derrière, un trou d'homme permettant l'entrée des ouvriers pour l'installation et la réparation de la machine. Le jus de la première chaudière peut pénétrer dans la seconde et celui de la seconde dans la troisième, au moyen de tuyaux pris sous le couvercle inférieur de l'une et qui va se rattacher à la suivante sur la calandre supérieure un peu au-dessus de la plaque tubulaire.

Pendant l'évaporation il se fait un remous violent dans tous ces tuyaux et fort irrégulier. Pour faciliter le mouvement des liquides, on a imaginé de placer au centre des plaques un tuyau de beaucoup plus grand diamètre D par lequel se fait le courant descendant, l'échauffement y étant moindre que dans les petits.

Une autre difficulté a paru se présenter : on a craint que la vapeur entrant dans la partie tubulaire ne se condense pas régulièrement sur tous les tuyaux, et alors on a établi autour de ces tuyaux un système de chicanes, formé de plaques de tôle étamées, qui force la vapeur à suivre en zigzag ou en cercle toute la capacité laissée dans la caisse autour des tubes. Cette disposition est mauvaise, on supprime partout aujourd'hui ces chicanes.

La maison de Fives-Lilles, de son côté, construit les appareils différemment, et la distribution de la vapeur se fait tout autour du faisceau tubulaire. Pour cela la calandre au milieu de laquelle sont les tuyaux, a les flancs renflés. Entre les faisceaux tubulaires et cette enveloppe se

trouve une seconde enveloppe B en tôle perforée, obligeant la vapeur, affluant par la tubulure d'admission, à se répandre préalablement dans toute la hauteur et sur tout le pourtour de la caisse tubulaire, de manière à produire une distribution circonférentielle parfaitement uniforme, allant de la périphérie au centre du faisceau. De la sorte, la vapeur rencontre d'abord la portion qui contient le plus de tubes, c'est-à-dire le pourtour, et finit sa condensation sur celle qui en contient le moins, et sur le tube central de gros diamètre, à la base duquel se fait l'aspiration par la pompe des eaux de condensation (fig. 107). La suppression de cette enveloppe B donne d'ailleurs de meilleurs résultats. La vapeur n'a pas besoin de toutes ces chicanes.

Les vapeurs produites dans la chaudière s'échappent par en haut en P, et vont se condenser dans la calandre inférieure de la chaudière suivante. Elles y sont conduites au moyen d'un gros tuyau en tôle ou en fonte. Sur le trajet on installe un *vase de sûreté* pour arrêter les particules sucrées entraînées par la vapeur. Nous reviendrons plus loin sur leur forme et leur objet, et nous en ferons même un chapitre spécial, car leur bon fonctionnement est de première nécessité.

Au sortir du vase de sûreté de la troisième chaudière, la vapeur est condensée dans le condenseur avant la pompe à air, au moyen d'un jet d'eau qui s'y épanouit en gerbe sous l'action du vide. Cette condensation devrait suffire théoriquement pour faire le vide parfait, et la pompe aurait le double but alors d'extraire l'eau condensée et celle introduite pour la condensation. Mais elle extrait en même temps les gaz non condensables. L'eau extraite par la pompe doit être de quelques degrés plus froide que la vapeur qu'elle a condensée, car, dans le cas où elle aurait la même température, c'est que l'eau ne serait pas injectée en quantité suffisante, ce dont on s'aperçoit facilement au peu de vide indiqué par le manomètre de la troisième chaudière; si elle était tout à fait froide, cela pourrait être causé par une profusion inutile de l'eau qui a toujours sa valeur.

Pompe à air. — La pompe à air (fig. 110, 111 et 112), se compose ordinairement d'un gros corps de pompe horizontal A, surmonté d'une bêche à deux compartiments superposés. Celui du bas communique avec les lumières de la pompe C et D; le tuyau dans lequel s'opère le vide s'y trouve aussi, E, mais enfermé dans un système de clapets ayant la forme d'un toit et séparant cette bêche en trois compartiments. Les deux compartiments extrêmes communiquent directement avec l'intérieur du cylindre par les lumières; celui du centre renferme seulement l'ouverture du tuyau d'aspiration. Mais la bêche supérieure elle-même F est

munie de clapets qui la font communiquer avec les compartiments de la bache inférieure, en sorte que chaque coup de piston enlevant l'eau de condensation fait le vide d'un côté dans la chaudière close en soulevant le clapet correspondant, tandis que de l'autre elle refoule le liquide dans la bache supérieure d'où il s'évacue librement par un large trop-plein G.

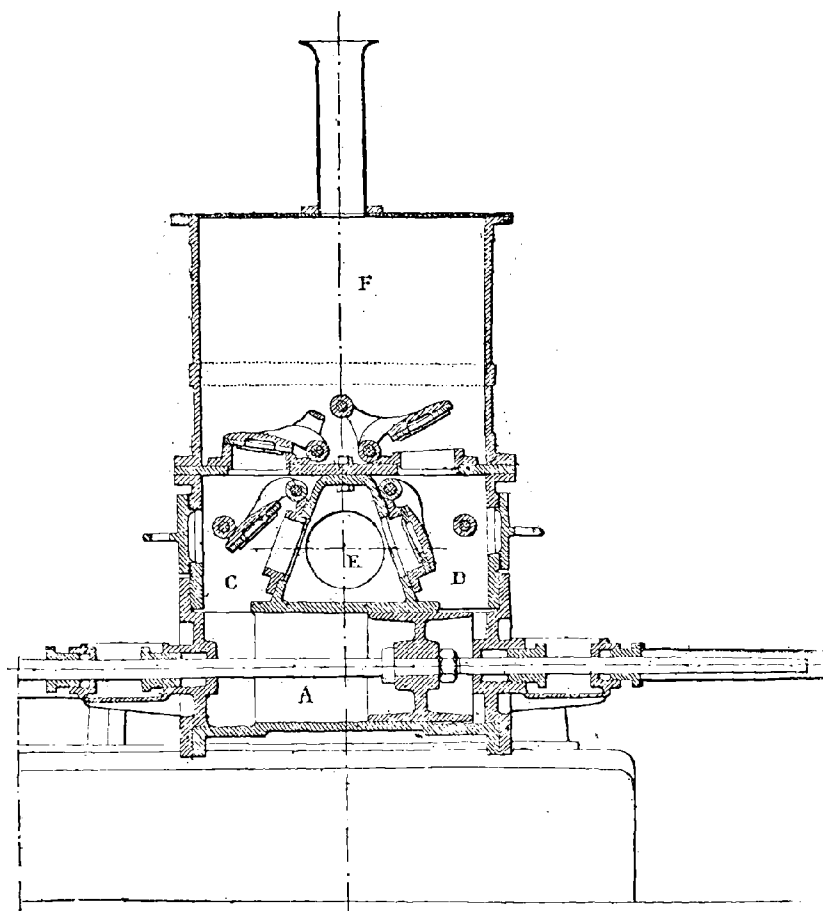


Fig. 410.

Cette bache est munie d'un couvercle léger, surmonté d'un tuyau ou cheminée empêchant les projections d'eau. Ces pompes fonctionnent donc toujours dans l'eau. Elles sont actionnées directement par une machine à vapeur. Les clapets sont en caoutchouc supportés par des grilles en bronze sur lesquelles ils frappent.

La qualité du caoutchouc, composé d'épaisseurs de toile et de caout-

chouc superposés, doit être très bonne, sinon l'usure en est très rapide.

Les clapets sont quelquefois tout en bronze, frappant sur des sièges en caoutchouc. De plus, ces pompes s'incrument vite du dépôt de l'eau, si cette eau n'est pas de bonne qualité, car elle s'y trouve portée à la température la plus favorable à la précipitation des sels calcaires. Il faut donc vérifier souvent et les clapets et l'état des grilles. D'ailleurs la pose des clapets se fait très rapidement quand ils sont usés.

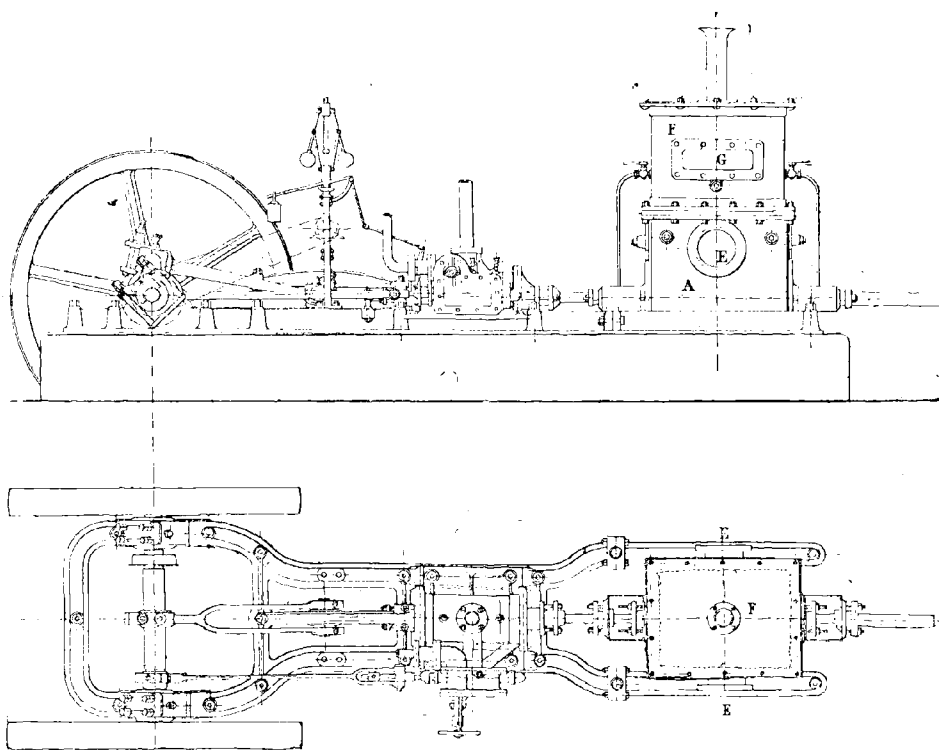


Fig. 141-142.

Mise en marche du triple-effet. — Lorsque le triple-effet est monté, que l'on s'est assuré qu'il n'y a pas de fuite, on commence, avant toute chose, par y faire le vide le plus parfait possible au moyen de pompe à air ; on a soin de fermer pour cela tous les tuyaux d'évacuation des eaux condensées, s'ils sont munis de robinets, et d'ouvrir en plein les tuyaux de gaz ammoniacaux pour que toutes les parties de l'appareil soient sous le même vide. En opérant ainsi on chasse autant que possible l'air

de l'appareil, air qui générerait l'action de la vapeur à son départ de chaque caisse. Ceci fait, on s'assure de nouveau qu'il n'y a pas de fuite en approchant une bougie de tous les joints et constatant que le vide est stationnaire, puis on charge l'appareil de jus en ouvrant les robinets d'alimentation. Le jus étant chaud, l'évaporation commence de suite, et il faut aller avec précaution pour qu'il ne se forme pas de mousse. Quand l'appareil est plein, on commence à donner la vapeur en ouvrant doucement la soupape ; on a eu le soin auparavant d'ouvrir également le purgeur que doit porter la première caisse au bas de la portion tubulaire, si toute autre disposition n'a pas été prise, pour permettre à la vapeur de chasser devant elle l'air qui se trouvait dans cette première caisse.

Lorsque la vapeur circule bien dans la première caisse, le régime du vide normal ne tarde pas à s'établir dans toutes les portions de l'appareil, et bientôt on constate que la troisième caisse est pleine de sirop à la densité voulue. Alors on règle complètement le triple-effet, en donnant à chaque robinet l'ouverture qui lui convient, et on commence l'extraction du sirop.

L'extraction du sirop se faisait autrefois au moyen d'un monte-jus. Or le monte-jus est un appareil déplorable parce qu'il dérange continuellement la marche du triple-effet toutes les fois qu'on le vide. Aussi l'a-t-on proscrit complètement.

On fait aujourd'hui cette extraction au moyen d'une pompe. Nous recommandons de régler la pompe de manière que sa marche soit continue, et que l'on sorte toujours le sirop à la même densité sans interruption. Le travail de l'appareil y gagne beaucoup. Ceci est très facile à exécuter, il suffit d'un peu d'attention de la part de l'évaporeur.

Pour arrêter le triple-effet et le vider, on fait passer le liquide contenu dans chaque caisse par la pompe à sirop. Aussi dispose-t-on une tuyauterie spéciale qui permet de faire communiquer la pompe avec l'une quelconque des caisses.

RÉCHAUFFEUR.

On profite souvent de la chaleur que contient la vapeur sortant de la troisième caisse du triple-effet pour réchauffer les jus. Cette chaleur, en effet, est perdue dans la condensation par injection. Si donc on fait traverser la vapeur dans un condenseur à surface autour duquel circule le jus que l'on veut chauffer, ce sera autant de calorique récupéré au profit de la consommation de combustible de l'usine. Ce condenseur à surface

prend le nom de *réchauffeur*. C'est un vase de sûreté (fig. 113) de grand diamètre, et dans son centre sont établis des tuyaux verticaux autour desquels circule la vapeur, tandis que dans le centre on fait passer le jus. Un tel appareil, avec 40 mètres de surface, échauffe 3.000 hectolitres

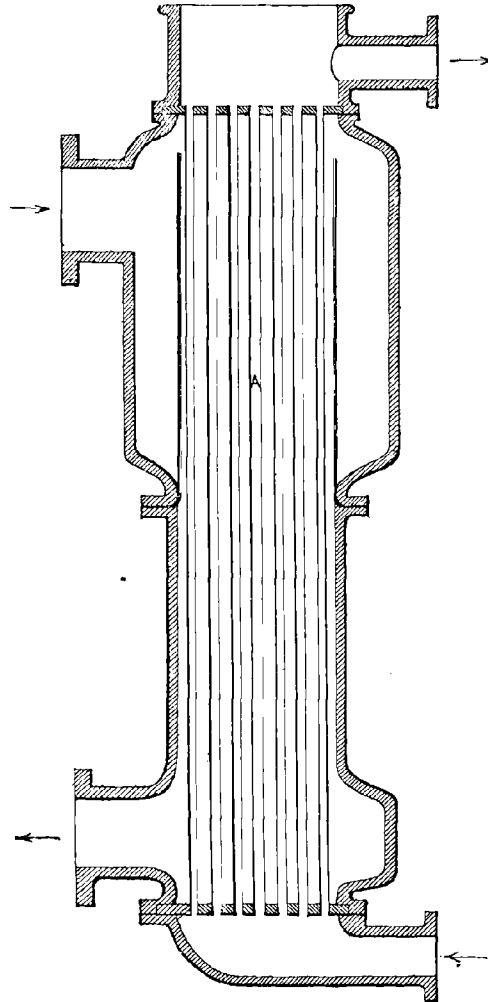


Fig. 113.

de jus à 40° en 22 heures ; seulement il s'incruste vite. On est donc obligé de le nettoyer souvent ce qui peut se faire en marche. Cette application rend des services réels, et est de bonne entente, puisque il utilise un calorique qui eût été complètement perdu.

§ 4. — Remarques générales sur la construction et la marche d'un triple-effet.

Nous venons de décrire sommairement la forme et les principales dispositions d'un triple-effet ainsi que sa marche générale.

A côté de ces données sommaires, sur lesquelles on pourrait s'étendre longuement sans ajouter une idée de plus au point de vue construction, il y a certains côtés pratiques qui échappent généralement et sur lesquels nous allons nous étendre un peu, car ils ont fait l'objet de maintes et longues discussions dans les journaux sucriers entre quelques ingénieurs et nous.

Le point de départ de ces discussions a été l'apparition des procédés préconisés par Rillieux pour augmenter la puissance des triple-effets. L'application de ces procédés m'ont forcé à faire toute l'étude de la vapeur exposée dans les pages précédentes, et celle des appareils spéciaux que nous avons employés pour arriver au résultat désiré.

Nous allons donc passer en revue les principaux points pratiques qui font l'objet de ces études en parlant, quand besoin sera, des objections qui y ont été faites.

Vapeur directe. — Lorsque les machines de l'usine ne fournissant pas assez de vapeur pour l'usage du triple-effet il faut y ajouter un certain appoint de vapeur directe. Généralement on ajoute cette vapeur au ballon au moyen d'un simple robinet.

Or il est de toute nécessité pour qu'un appareil marche bien que la pression au ballon soit constante, car la régularité dans les pressions d'un appareil est une cause prédominante d'un bon rendement. Un appareil qui varie sans cesse dans ses indications manométriques ne fait rien qui vaille comme travail.

Comme d'autre part la quantité de vapeur de retour arrive variable suivant le nombre des machines qui marchent, l'effort qu'elles ont à faire, etc., il est évident que l'ouverture du robinet de vapeur de retour doit être variable aussi, et que l'évaporeur doit toujours avoir l'œil au manomètre pour régler son robinet chaque fois que le besoin s'en fait sentir.

Mais il peut arriver que l'évaporeur ne veuille pas d'une manière suffisante à son manomètre, et alors que la pression monte tellement au ballon que les machines s'en ressentent et ralentissent, au point même de s'arrêter. C'est une chose qui se voit souvent surtout au moment du décrassage des feux lorsque la pression baisse aux générateurs.

Rillieux a imaginé une soupape équilibrée servant à l'admission de

la vapeur directe et qui évite tous ces inconvénients. Grâce à cette soupape il arrive ceci, c'est que, lorsque la vapeur baisse aux générateurs, ou lorsque la pression dans les retours dépasse une certaine limite, la soupape se referme d'elle-même de telle sorte que les machines ne puissent plus s'arrêter. C'est donc la solution d'un problème intéressant.

Ayant eu maintes fois l'occasion d'employer cette soupape, je remarquai que, si le principe était bon, l'exécution laissait à désirer. Aussi le fonctionnement de cet utile appareil ne nous donna-t-il satisfaction que le jour où je rencontrai Dulac, inventeur d'un système de clapet équilibré, et où je lui donnai à construire les soupapes Rillieux. Dès lors nous fûmes en possession d'un outil parfait.

Décrivons d'abord le clapet Dulac.

On sait que dans les soupapes de sûreté ordinaires le clapet ne se soulève guère que de 1 à 2 millimètres au plus, à cause de la contre-pression atmosphérique. Leur débit en vapeur n'est donc que très faible, soit de 6 kilogrammes environ par centimètre carré et par heure. Le maximum obtenu est de 20 kilogrammes.

Dulac pour éviter la contre-pression atmosphérique, ou plutôt lui faire équilibre, a surmonté la soupape d'un tronc de cône métallique reposant sur sa petite base, très léger d'ailleurs, et a enveloppé ce tronc de cône en prolongeant le siège de la soupape en forme d'ajutage ; de telle sorte que la vapeur, en sortant sous la soupape, traverse l'ajutage, réagit sur le tronc de cône qu'elle tend à soulever, et fait équilibre ainsi à la contre-pression nuisible de l'atmosphère.

Il en résulte que le soulèvement de la soupape est proportionnel à la pression qui agit sans elle, et que le débit de vapeur est proportionnel à cette pression.

Le fait est que la soupape Dulac a un débit d'au moins 100 kilogrammes de vapeur par centimètre carré et par heure !

Cette levée proportionnelle au débit est justement ce que nous cherchions.

Voici donc comment est construite maintenant la soupape Rillieux avec clapet Dulac. (fig. 114 et 115).

L'ensemble a la forme d'un robinet-valve coudé. Seulement, Dulac a étudié la boîte de telle sorte que la vapeur y soit soumise au minimum de réaction possible contre les parois.

La vapeur arrive par en bas sous le clapet. Celui-ci, surmonté de son cône, est buté contre une tige en deux pièces sur la tête de laquelle repose un levier à contrepoids, extérieur à l'appareil.

Cette tige est en deux pièces, parce que le presse-étoupe a été rem-

placé par un piston en bronze à longue portée, incrusté de rainures circulaires et glissant à frottement doux dans une enveloppe en bronze de

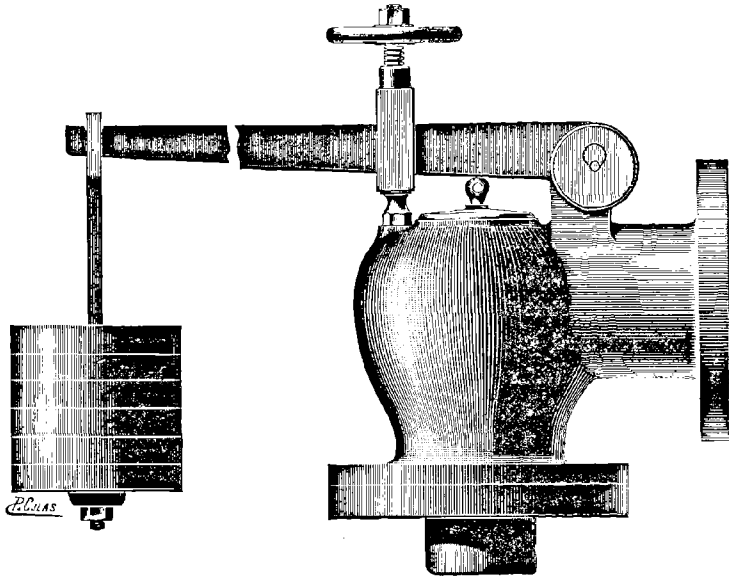


Fig. 114

même dimension. Cette disposition ne laisse pas échapper un atome de vapeur et n'oppose aucune résistance au soulèvement de la soupape.

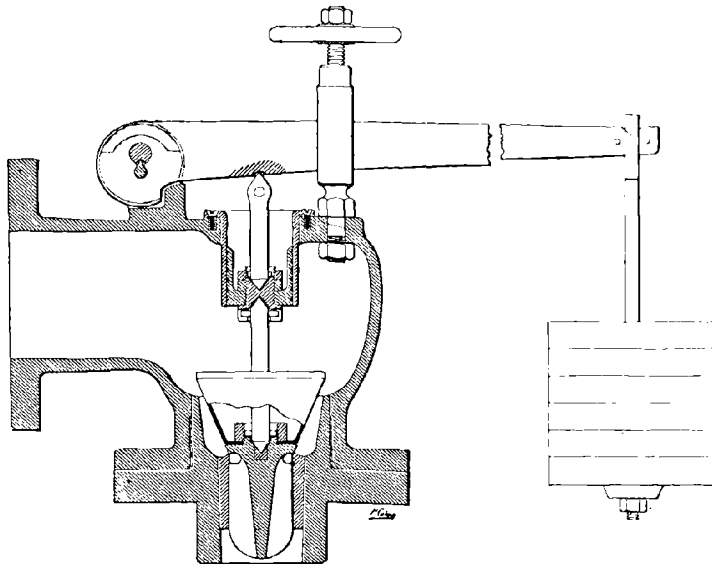


Fig. 115.

Ceci posé, voilà ce qui se passe.

Supposons 4 atmosphères aux générateurs, ou plutôt dans la conduite de vapeur directe. Supposons aussi que les machines demandent 3,5 atmosphères pour marcher. On peut donc donner aux retours 0,5 atmosphère de contre-pression sans nuire aux machines.

Si donc on charge le levier qui repose sur le clapet d'un poids correspondant à 3,5 atmosphères la soupape se soulèvera tant qu'il n'y aura pas 0,5 atmosphère aux retours. Mais, arrivée à ce point, la soupape se refermera d'elle-même.

Si, d'autre part, la pression aux générateurs monte à 4,5 il est évident que la soupape ne se refermera que pour une contre-pression de 1 atmosphère.

Enfin, si la pression aux générateurs tombe à 3,5 la soupape ne se lèvera pas du tout.

Donc, en admettant la vapeur au moyen de cette soupape, il sera impossible à l'évaporateur d'arrêter les machines.

D'ailleurs, une petite vis munie d'un volant et appuyant sur le levier permet de régler l'ouverture de la soupape et de s'en servir comme d'un robinet ordinaire, dans le cas où le jus manquant on n'a pas besoin du débit total de la soupape.

Cet instrument admirablement, se règle avec la plus grande facilité et avec une exactitude remarquable, et rend de réels services dans nos montages.

Où doit-on donner la vapeur directe? Quand on l'introduit dans le ballon elle se mélange à la vapeur qui y afflue. La détente de la vapeur passant de 4 à 1/2 atmosphère, se fait au milieu de cette vapeur et le tout passe dans la conduite de vapeur du ballon à la première caisse.

A notre avis, il vaut mieux introduire la vapeur directe dans le bas de la première caisse elle-même.

Quel est en effet l'action de cette vapeur additionnée. C'est de la vapeur très chaude et sèche qui s'ajoute à de la vapeur humide des retours, et revaporise par conséquent les vésicules d'eau entraînées. Nous avons expliqué précédemment l'effet nuisible dans la condensation des vésicules d'eau qui mouillent la vapeur.

Par conséquent, cette addition de vapeur directe augmente l'effet utile de l'appareil en rendant la vapeur de retour plus facilement condensable.

Le même effet se reproduit dans le ballon il est vrai, seulement dans le ballon beaucoup de vésicules d'eau se déposent qui ne vont pas à l'appareil, et la vapeur directe agit inutilement sur ces vésicules qui se

purgent dans le ballon. Dès lors on conçoit que cette action bienfaisante de la vapeur directe soit bien plus sensible quand elle se fait dans la caisse elle-même que dans le ballon des retours. C'est pourquoi nous préférons, et la pratique nous l'a indiqué d'abord, cette disposition.

D'ailleurs nous nous sommes étendus sur ce point intéressant, ainsi que sur l'état de la vapeur sortant d'une soupape, à l'article *vapeur surchauffée* auquel nous renvoyons nos lecteurs.

Extraction des eaux condensées et des gaz non condensables. — Chacun est d'accord sur la nécessité d'extraire toute l'eau condensée au fur et à mesure de sa production dans l'espace intertubulaire des caisses d'évaporation verticales.

Quant aux gaz, où et comment doit-on les extraire ?

Nous avons expliqué, dans un chapitre précédent, comment les gaz mélangés à la vapeur se séparaient par ordre de densité au moment où cette vapeur leur servant de véhicule se condensait. Les gaz lourds tombent à la partie inférieure de l'espace intertubulaire, les gaz légers gagnent la partie supérieure.

Si l'on veut extraire ces gaz, c'est là où ils sont qu'il faut les aller chercher. Par conséquent, les gaz plus lourds que la vapeur, air et acide carbonique, s'évacueront par en bas en même temps que l'eau, tandis que les gaz légers, comme l'ammoniaque, se prendront tout en haut.

Rillieux, l'inventeur du triple-effet, connaissait fort bien ces phénomènes que jamais il n'était venu à l'idée de personne de mettre en doute avant 1882, même pas à nos adversaires qui glorifiaient Rillieux en 1880 (*Sucrerie indigène*, 19 novembre 1880). Aussi s'appliqua-t-il à extraire l'air et l'eau en même temps dans ses appareils avec le plus grand soin, soit lors de son invention en 1845, soit en 1878 quand il s'occupa de nouveau d'évaporation.

En 1845, Rillieux avait indiqué de traiter chaque corps de triple-effet comme un condenseur séparé et d'appliquer à chacun une pompe à air. Le triple-effet comportait donc trois pompes à air, le premier corps se vidant par l'intermédiaire de la pompe alimentaire du générateur.

En 1878, pour éviter la dépense des deux pompes intermédiaires, Rillieux imagina de recevoir l'eau condensée de chaque corps dans une boîte en communication avec une pompe à eau ordinaire, et d'évacuer dans le corps suivant l'air sortant avec l'eau.

Bien plus, pour n'avoir qu'une seule pompe à eau, il fit vider la boîte du second corps dans celle du troisième où existe un plus grand vide, et, pour simplifier encore la construction, il rendit les deux boîtes solidaires.

Ainsi naquit la boîte de retour à deux compartiments qui fait l'objet du brevet de 1880.

La boîte de retour (fig. 116) se compose donc d'une caisse en fonte séparée en deux compartiments A et B par une muraille intérieure. Au bas de cette muraille un ajutage C renferme un papillon D actionné par un flotteur E ce qui rend le compartiment qui le contient un peu plus grand que l'autre.

L'eau du grand compartiment se rend donc dans le petit en traversant l'ajutage, lorsqu'elle est en abondance suffisante pour soulever le flotteur.

L'eau du petit compartiment s'échappe par la tubulure F placée en bas, et reliée par un tuyau avec une pompe à eau.

L'eau de la deuxième caisse arrive dans le grand compartiment par une tubulure G placée en haut, et l'eau de la troisième caisse entre en H de la même manière dans le petit compartiment.

Les gaz sont évacués de chaque compartiment par des robinets placés

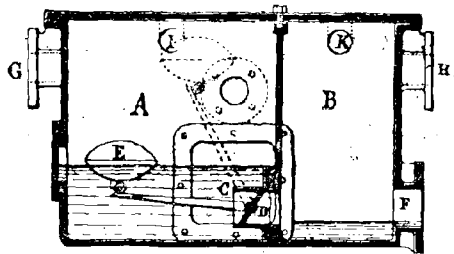


Fig. 116.

soit sur le couvercle, soit sur des tubulures I et K latérales. Le boisseau de ces robinets porte deux ouvertures, soit l'ouverture normale à tout robinet et, perpendiculairement, une petite ouverture ronde dans laquelle s'engage un diaphragme en acier, percé d'un trou calculé pour l'échappement en minces parois des gaz reconnus exister dans la caisse correspondante. Lorsque le robinet est dans la position fermée, il se trouve ouvert sur le diaphragme.

La maison Mariolle-Pinguet, qui a construit en France tous les appareils Rillieux, a donné au boisseau de ces robinets à diaphragme une forme spéciale qui lui permet d'occuper trois positions, fermée, ouvert en plein, ouvert sur le diaphragme, ce qui assure tous les services que l'on peut demander à ces robinets. Des lunettes, un trou d'homme et un niveau d'eau complètent l'ensemble de cet appareil.

Pour le premier corps on a dû employer des boîtes à flotteur à un seul compartiment tout en tôle, la fonte présentant quelque danger. Ces boîtes ont exactement la disposition du grand compartiment A de la boîte double, mais se font cylindriques pour offrir plus de résistance. On les construit parfois aussi en fonte épaisse, mais elles sont plus lourdes, ce qui, dans bien des cas, n'offre pas d'inconvénients.

Dans les boîtes simples communiquant avec une pompe, lorsque celle-ci n'est pas trop grande, on peut supprimer le flotteur. Cette suppression amène parfois des claquements dans les pompes quand l'eau manque et que la vapeur afflue derrière le piston, aussi l'emploi du flotteur est-il recommandable.

Les tuyaux d'arrivée d'eau dans la boîte à flotteur doivent être calculés en tenant compte de ce fait que l'air dont on veut se débarrasser doit les traverser en même temps que l'eau.

Condenseurs. — Nous avons donné la dimension que l'on doit attribuer aux condenseurs. Mais la disposition que l'on peut leur donner est très variable.

Le but que l'on se propose est de mettre l'eau d'injection en contact le plus immédiat possible avec la vapeur. Aussi doit-on diviser cette eau le plus possible.

La meilleure disposition, selon nous, est l'injection d'eau au moyen d'une pomme d'arrosoir placée juste en opposition avec l'entrée de vapeur et à telle distance que l'eau jaillisse en gerbe dans toute la capacité du condenseur occupé par la vapeur.

Une bonne disposition aussi, consiste dans l'emploi d'un cône mobile qui permet de faire varier la quantité d'eau injectée en écartant plus ou moins le cône. Il a à peu près les mêmes avantages que la pomme d'arrosoir au point de vue de la division de l'eau, et permet en plus une régularisation plus parfaite, surtout quand l'eau est incrustante ou sale.

Quand l'eau est incrustante ou sablonneuse, on se sert souvent du condenseur suivant. C'est une caisse parallélépipédique (fig. 117 et 118) dans laquelle se trouvent des séparations horizontales percées de lumières à rebord. Ces lumières sont disposées dans la longueur de la caisse et celles d'une séparation sont opposées à celles de l'autre. Ces séparations sont formés d'autant de plateaux mobiles que l'on change quand ils sont sales.

L'eau d'injection est déversée sur le premier plateau du haut. De celle-ci elle tombe par les lumières sur le plateau du dessous, et ainsi de suite, faisant cascade jusqu'à la pompe à air.

La vapeur suit le même mouvement. Le nombre de plateaux est suffisant pour que toute la vapeur se condense et que l'air arrive seul à la pompe.

Ce système, un peu encombrant, est très commode avec les eaux qui forment d'abondants dépôts.

En Autriche et en Allemagne on emploie une autre disposition en cascade que nous allons décrire plus loin à propos des condenseurs barométriques.

Circulation de la vapeur dans les caisses. — Chicane. — La vapeur de retour et la vapeur directe mélangées arrivant dans l'espace intertubulaire des caisses d'évaporation pour s'y condenser.

Nous avons expliqué précédemment les phénomènes qui se passent pendant la condensation et la vitesse réellement très faible de la vapeur à la surface des tubes au moment de la condensation.

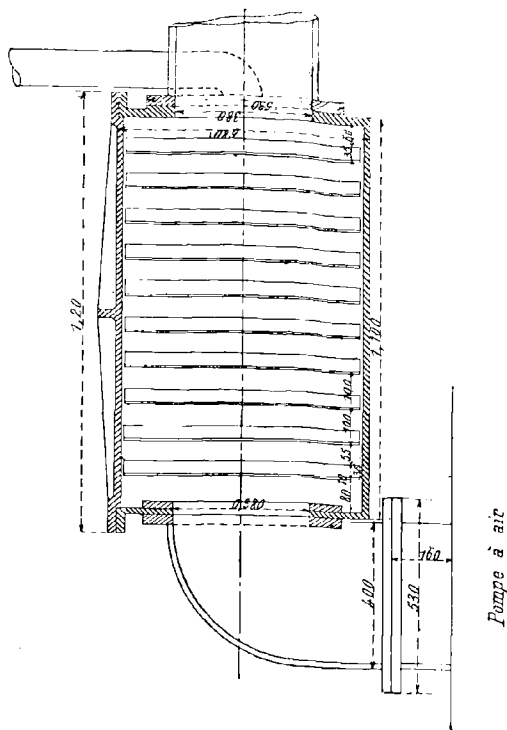


Fig. 117.

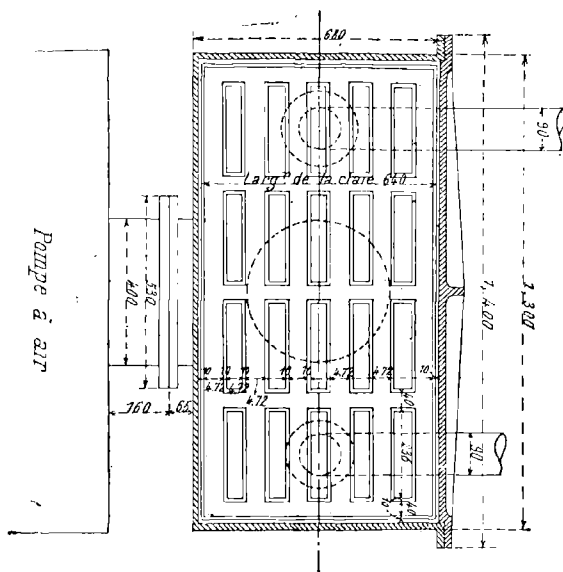


Fig. 118.

La maison Cail qui construisit les premiers appareils à triple-effet verticaux, frappée du peu de rendement de ces appareils, chercha les moyens de l'augmenter. Ignorant les causes de ce peu de rendement, elle s'en prit à la vapeur elle-même et non à l'air qu'elle contenait et qui ne se purgeait pas dans son dispositif et s'imagina qu'il fallait forcer cette vapeur à faire de nombreux circuits autour des tubes pour être certaine que tous les tubes seraient également chauffés.

C'est ainsi que naquit l'idée de faire des chicanes à l'intérieur de l'espace intertubulaire, chicanes qui forçaient la vapeur à circuler en lacet dans cet espace, ce qui est très mauvais à cause des changements brusques de direction, ou bien en circuits circulaires à changements brusques également.

Tous ces dispositifs n'amenèrent aucune amélioration dans la marche de l'appareil. Au contraire, ils gênaient la vapeur qui ne doit pas être tourmentée dans son action de condensation,

Il est un fait certain, c'est que si l'on envoie de la vapeur dans un condenseur elle se rend là où se trouve le point le plus refroidi sans qu'elle ait besoin d'être guidée, parce que là se trouve un point de dépression immédiate qui active sa circulation. C'est pourquoi dans un condenseur la même pression règne partout, car si une pression moindre régnait quelque part la vapeur s'y précipiterait jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli.

Il en résulte que le meilleur moyen d'avoir une bonne condensation c'est de faciliter, par des voies ouvertes, l'accès de la vapeur en tous les points de l'espace intertubulaire. On y arrive facilement soit par le système de Fives-Lille qui laisse un ventre autour du faisceau tubulaire, mais à la condition de supprimer la tôle perforée qui l'entoure, soit en ménageant dans l'agencement des tubes un cône de pénétration. Donc les chicanes sont une mauvaise chose et l'on doit les supprimer.

§. 5. — Ralentisseurs et vases de sûreté.

J'ai fait sur ce sujet une communication au Congrès de l'Association des chimistes de sucrerie en juillet 1892, à Paris. Je ne saurais mieux faire que de reproduire ici *in extenso* ce travail, rappelant d'ailleurs ce que je disais des ralentisseurs à la page 521, au point de vue du travail dynamique qui s'y passe.

La question des vases de sûreté est de premier ordre aujourd'hui où l'on recherche les moindres pertes de sucre, c'est pourquoi nous nous étendons un peu sur ce sujet si intéressant d'ailleurs au point de vue théorique.

Quelle que soit la forme des appareils d'évaporation, verticaux ou horizontaux, si l'on ne prend pas de précautions spéciales, on remarque dans les eaux de condensation la présence constante de sucre. Mais cette quantité de sucre entraînée est tellement variable qu'il est impossible d'en donner même une moyenne, seulement on peut dire que pour chaque appareil il y a un coefficient d'entraînement particulier.

Il est facile d'obvier presque complètement dans la pratique à ce grave inconvénient, et encore plus facile de l'éviter, lorsque l'on construit un appareil, et c'est ce que j'ai entrepris de faire voir dans la présente communication.

J'ai écrit dans la première édition de mon *Traité de fabrication du sucre* (page 360). « D'ailleurs le meilleur vase de sûreté que l'on puisse posséder est d'élever très haut la calandre supérieure de ses chaudières ; de la sorte l'entraînement par la vapeur est presque nul. »

Ce que j'ai écrit en 1882, je le répète encore aujourd'hui : une haute calandre est le meilleur des vases de sûreté.

En effet, considérons une chaudière verticale d'évaporation ; prenons la dernière, celle où se concentre le sirop, celle où les entrainements sont le plus considérables.

Cette dernière chaudière est la plus intéressante à ce point de vue pour deux raisons. La première c'est que les vésicules sucrées entraînées sont constituées par du sirop riche, et la seconde parce que dans cette caisse le vide est plus élevé que dans les autres, et le mouvement de vapeur plus considérable, à cause du grand volume spécifique de cette vapeur.

A l'assemblée générale du 7 février 1891, j'ai fait connaître mes calculs sur le volume de la vapeur développée dans chaque chaudière. Considérons à nouveau ce qui se passe dans la troisième caisse d'un triple-effet (Voir plus loin, comparaison entre les caisses verticales et horizontales).

Soit un tube de 1^m,200 de longueur, 0^m,050 de diamètre, volume intérieur 2 lit. 3568, surface intérieure 18 décimètres carrés 852 ; soit une évaporation de 10 hectolitres de jus par mètre carré de surface intérieure des tubes, par 24 heures, ou 800 kilogrammes d'eau vaporisée, ou 0^s,0015 de vapeur formée par seconde dans un tube.

J'ai établi que la vitesse d'ascension du jus dans les tubes était donnée par la formule :

$$V = K \sqrt{2g(h-h')}D$$

h étant la hauteur des tubes, h' la hauteur du jus dans le tube, et D la

densité du liquide, et j'ai donné la formule déterminant $(h - h')$, formule compliquée que je n'indique pas ici.

Il résulte de ces formules que la vitesse ascensionnelle du jus dans les tubes du troisième corps est de 2^m,830.

D'autre part la vitesse de la translation verticale de la vapeur dans la calandre est égale à 2 mètres environ, quelle que soit la surface de chauffe de la caisse, le rapport entre la section de la calandre et la surface de chauffe étant à peu près constant pour une longueur de tube donnée. Enfin considérons le cas le plus favorable pour les entraînements celui où la plaque tubulaire supérieure est découverte de sirop, comme dans le Chappmann, par exemple.

Il résulte de tout ce qui précède que, en prenant la vitesse initiale de 2^m,83 que possède le jus, la vitesse d'entraînement, ou vitesse de la vapeur formant milieu ambiant, soit 2 mètres, et calculant la hauteur à laquelle devait être projeté le jus sous l'action de ces forces, par la formule ordinaire, enfin affectant la formule d'un coefficient de dépense 0,8, on trouve sensiblement 1 mètre.

Mais là ne s'arrête pas l'action immédiate de l'entraînement. Au moment où le jet arrive au maximum de hauteur, il se rompt en pluie dont les gouttelettes qui n'ont aucune vitesse initiale se trouvent à ce moment comme suspendues inertes dans le courant gazeux et suivent le mouvement ambiant, jusqu'à ce que la pesanteur les fasse retomber.

Soit encore $\frac{v^2}{2g} = 0^m,210$.

Donc il semble que, dans le cas le plus défavorable, il suffirait pour empêcher les entraînements que la calandre eût 1^m,210 de hauteur, ou 1^m,50 en supposant le vide plus parfait. Et cependant, dans ces conditions on remarque encore des entraînements !

C'est qu'en effet il a été reconnu que le jus entraîné dans le courant de vapeur n'est pas sous la forme de gouttelettes proprement dites, mais de *vésicules* ou petites bulles creuses de faible poids spécifique, exactement comme on a reconnu la présence des vésicules dans l'eau qui compose les nuages entraînés par le vent. Le phénomène est le même. (Voir p. 516.)

Il est donc évident que l'état vésiculaire est tout à fait instable, et que les vésicules finissent toujours par crever comme les bulles de savon.

Donc plus longtemps on conservera les vapeurs, contenant les vésicules, au-dessus du jus dont elles proviennent, plus on aura de chance de les voir se crever et retomber en pluie dans l'appareil même.

C'est pourquoi je disais qu'il était utile d'avoir des calandres aussi hautes que possible.

Dans une sucrerie nous avons eu comme quatrième corps d'un quadruple-effet des caisses ayant des calandres de 2^m,30. Nous n'avons jamais eu d'entraînement dans ces caisses quoique l'ébullition y fût très énergique et les projections considérables.

En Allemagne on fait généralement les calandres plus élevées qu'en France. Il est vrai qu'en France on les fait en fonte, tandis qu'en Allemagne elles sont en tôle, ce qui prête davantage à les tenir plus élevées. Ces appareils sont très laids, mais les entraînements y sont peu considérables. Aussi nos constructeurs, quoique employant la fonte, feraient-ils bien d'adopter les hauteurs de calandre plus conformes aux besoins de l'évaporation.

Lorsque les vésicules sucrées sont entrées dans la tuyauterie, et qu'elles ont pris des vitesses de 30 et 40 mètres et plus, il faut chercher à les arrêter. Tel est le but des vases de sûreté.

Les anciens appareils d'évaporation étaient munis de vases de sûreté plutôt pour empêcher les enlèvements que les entraînements. Dans ce temps, soit avant 1868, quand la maison Cail avait le monopole de la construction en France, on ne s'occupait guère des entraînements, dont on ne connaissait d'ailleurs pas la valeur; les vases de sûreté (fig. 119) s'appelaient même *brise-mousses*, et étaient là pour récupérer les enlèvements des jus qui se produisaient fréquemment parce que les jus étaient moins bien déféqués qu'aujourd'hui. Cependant Walkoff, avant cette époque, relatait dans son livre la présence du sucre dans les vapeurs de jus, et avait même imaginé un dispositif qu'il croyait préférable à tous les autres pour l'arrêter.

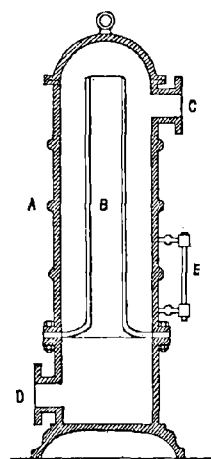


Fig. 119.

Tous ces appareils de sûreté ont les mêmes inconvénients. Ils ne diminuent pas la vitesse de la vapeur qui entraîne le sucre, ils ne font qu'en contrarier les mouvements au détriment de l'effet utile de l'appareil, car tous ces changements de direction provoquent des pertes de charge considérables. Quelques vésicules sucrées sont sans doute brisées, mais beaucoup passent encore, et ces vases de sûreté sont tout à fait illusoire.

C'est alors que parut le *Ralentisseur Hodeck*, connu à ses débuts sous le nom de condensateur saccharimétrique (fig. 120).

L'appareil Hodeck se compose d'un cylindre horizontal de grand diamètre dans lequel débouche le tuyau d'arrivée de vapeur. Des tôles perforées sont placées à l'intérieur parallèlement au fond, formant une

sorte de crible que traverse la vapeur et qui est destiné à arrêter les gouttelettes entraînées.

L'appareil Hodeck répondait bien à son but. C'était le premier vase de sûreté arrêtant sûrement les vésicules sucrées. Malheureusement on s'aperçut qu'il faisait subir une très grande perte de charge à la vapeur, et, pour mon compte, j'ai constaté des différences de vide de trois, quatre, jusqu'à cinq centimètres entre l'entrée et la sortie de vapeur, quoique les diaphragmes ne fussent aucunement bouchés.

Alors on eut l'idée de supprimer complètement les tôles perforées, et l'on eut ainsi le ralentisseur proprement dit qui fonctionne tout aussi bien que l'Hodeck avec une perte de charge beaucoup moindre. Ainsi, un *ralentisseur* est simplement un cylindre de grand diamètre interposé

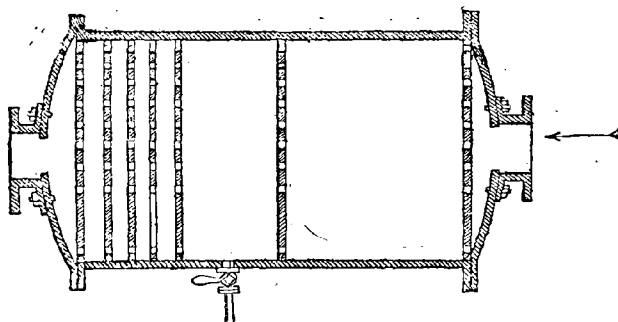


Fig. 120.

sur le parcours du jus. Tout le monde est d'accord pour trouver que cette disposition répond parfaitement à l'office qu'on lui demande.

Comment donc fonctionnent les ralentisseurs ? C'est une question que je n'ai vu posée nulle part. On admet seulement que la vapeur en arrivant dans ce grand cylindre se ralentit, et que ce ralentissement suffit pour que les gouttelettes entraînées par la vapeur se déposent en tombant de leur propre poids au fond du ralentisseur.

Alors il vient immédiatement à l'idée de calculer quelle longueur doit avoir un ralentisseur pour que le phénomène soit complet. Ce phénomène, en effet, s'explique en disant que les gouttelettes sucrées, lancées horizontalement dans l'espace du ralentisseur, tombent par le fait du ralentissement en décrivant une parabole ; et si l'on donne à l'appareil une longueur telle, que la trajectoire parcourue par les gouttelettes s'arrête au-dessous du tuyau de sortie des vapeurs, on aura résolu le problème.

Posons donc la formule de la parabole :

$$e = \sqrt{\frac{2 V^2}{g}} \acute{e}$$

e et \acute{e} étant les deux coordonnées d'un point de la parabole, et V la vitesse dans le tuyau à l'entrée du ralentisseur. Dans cette formule il n'est pas tenu compte de la vitesse de la vapeur dans le ralentisseur lui-même.

Si l'on suppose que le tuyau d'arrivée de vapeur ait 100 millimètres, la vitesse V égalant 30 mètres, quelle longueur aura la parabole pour que la projection des gouttelettes se fasse contre la paroi opposée à 100 millimètres au-dessous de l'axe. En substituant les nombres aux lettres on trouve :

$$e = 5,820.$$

Ainsi, pour que les gouttelettes s'écartent de l'axe du ralentisseur suffisamment pour ne pas entrer dans le tuyau de sortie, il faudrait que le cylindre eût 5^m,80 ! Et cependant l'expérience journalière prouve qu'une longueur de 2 mètres est presque toujours suffisante.

Si, de plus, nous tenons compte de la vitesse de la vapeur dans le ralentisseur, soit de 1^m,50 si le cylindre a un diamètre tel que la vitesse soit 20 fois plus petite, cette vitesse d'entraînement allonge encore la parabole, puisque au lieu de $\acute{e} = 1/2 g t^2$ on a $\acute{e} = vt + 1/2 g t^2$ et on arrive à une longueur de 11 mètres environ !

Ce calcul prouve que le raisonnement précédent ne rend pas compte du tout de ce qui se passe dans un ralentisseur, et que si réellement les vésicules sucrées, devenues gouttelettes, parcourent une parabole en tombant, il y a quelque cause qui raccourcit la parabole au point de la réduire à moins de 2 mètres.

Si nous cherchons dans les auteurs, nous trouvons dans Pécelet des remarques fort intéressantes sur la circulation du gaz dans des tuyaux de diamètres différents, et ces remarques vont nous mettre sur la voie.

Lorsqu'un gaz s'échappe d'un tuyau pour entrer dans l'atmosphère ou dans un tuyau beaucoup plus large, comme cela se passe dans les ralentisseurs, il y a, comme pour l'eau, une contraction de la veine gazeuse qui change les proportions de cette veine, et augmente la vitesse de translation des molécules gazeuses au point contracté. Si l'on considère le rapport du diamètre des deux tuyaux $\frac{d}{D} = 0,3$ on trouve un coefficient d'augmentation de vitesse $\psi = 1,10$.

Si l'on examine d'autre part ce qui se passe à la sortie de la vapeur du ralentisseur, on trouve que les gaz en passant d'un tuyau plus gros

dans un tuyau plus petit éprouvent un ralentissement $\varphi = 0,83$ de la vitesse calculée.

Ces augmentations de vitesse et ces ralentissements se traduisent dans la circulation des gaz par une perte de charge égale au coefficient de changement de vitesse. De sorte que si l'on envisage un ensemble formé d'un renflement sur un tuyau dans le rapport de $\frac{d}{D} = 0,3$ on trouve entre la charge du gaz, à l'entrée et à la sortie du renflement, une perte $\varphi = 0,664$. D'où il résulte que si la vapeur entre dans le ralentisseur avec une vitesse initiale de 30 mètres, elle en sort avec une vitesse réduite de 20 mètres.

Or que se passe-t-il dans un ralentisseur pour expliquer cette perte de charge ?

Ces phénomènes sont très complexes. Les gaz, en s'échappant du petit tuyau de diamètre d , prennent une direction divergente en formant un angle d'environ 7° , allant en s'élargissant en forme de cône, jusqu'à ce qu'ils rencontrent les parois du gros tuyau de diamètre D .

Mais là se passe un fait très important. Les gaz, en s'échappant avec grande vitesse du petit tuyau, laissent, en arrière du cône de pénétration dans le cylindre, un espace annulaire dans lequel se fait un vide relatif qui fait appel de la veine en sens inverse, et tout autour de cette veine, tendant à faire un remous aux dépens des couches externes de la veine.

De plus, comme la veine s'élargit, la tension des gaz diminue au fur et à mesure que le cône augmente. Mais on remarque que cette diminution de tension n'est pas égale sur toute la section du cône, qu'elle est plus grande à la périphérie que dans l'axe ; enfin que la tension diminue également sur l'axe sur toute la longueur du cône. Ainsi si les pressions sur l'axe sont proportionnelles en deux points successifs à 33,8 et 25,1, les pressions à la périphérie dans le plan perpendiculaire à l'axe, sont proportionnelles à 11 et à 0,3. Par conséquent, tandis que la veine centrale ralentit rapidement son mouvement, celui des veines de la périphérie diminue plus rapidement encore, pour arriver très près de 0 quand on arrive au maximum de perte de charge $\varphi = 0,664$.

Ce maximum de φ correspond à une longueur du ralentisseur égale à $6,5 (D - d)$. C'est, en effet, la longueur correspondant à l'épanouissement complet de la veine de 7° dans le ralentisseur, c'est-à-dire lorsqu'elle atteint le diamètre D .

De plus la valeur de φ diminue à mesure que le diamètre du gros tuyau augmente. Il y a donc avantage à avoir des ralentisseurs de grand diamètre, pourvu que leur longueur soit suffisante. Mais pour ne pas donner

aux ralentisseurs des longueurs exagérées et que cette longueur soit proportionnelle à $(D - d)$, il est nécessaire de donner aux tuyaux qui amènent la vapeur, de grands diamètres. Si, par exemple, on a un tuyau de 300 et un ralentisseur de 900 de diamètre, il faudrait donner à ce dernier une longueur de 3^m,900. Mais si l'on veut que les ralentisseurs n'aient que 2 mètres, il faudrait diminuer également leur diamètre, et ne leur donner que 600.

Mais ces chiffres demandent une correction industrielle, car l'angle de 7° augmente jusqu'à 10° lorsque la contraction de la veine se rapproche d'une façon anormale de l'extrémité du tuyau amenant la vapeur, comme lorsque ce tuyau est coudé, cas assez général dans les installations. Alors le ralentisseur doit avoir environ 25 % d'augmentation de diamètre, 750 dans le cas précédent, ou bien diminuer d'autant sa longueur, 3^m,10 au lieu de 3^m,900, ce qui en revient au même.

Enfin, si l'on exagère le diamètre d'un ralentisseur par rapport à sa longueur, il semble, qu'au point de vue du but qu'on se propose il n'y ait aucun inconvénient, parce que la veine s'épanouissant jusqu'à ce que la vitesse périphérique soit nulle, la veine centrale se ralentit encore, et l'espace supplémentaire se trouve occupé par des tourbillons formés par l'appel en arrière dans lesquels les vésicules sucrées ont tout le temps nécessaire pour se réduire et se précipiter au bas du ralentisseur. Nous ne considérons ici que le cas où la vapeur entre par un bout du ralentisseur et sort par l'autre.

Tous ces faits nous éclairent sur le fonctionnement des ralentisseurs. Dans ce mouvement de contraction, de rapprochement des molécules gazeuses, puis de projection latérale, de diminution de pression, de ralentissement de mouvement et de tourbillonnement par rétroaction sur toute la surface périphérique du cône, les vésicules sucrées se resserrent et s'accroissent alternativement et crèvent enfin comme un ballon trop gonflé dans une atmosphère raréfiée pour redevenir à l'état de gouttelettes lourdes qui tombent. Si l'on joint à cela l'action de la pesanteur sur les gouttelettes formées, et les trajectoires paraboliques qu'elles décrivent dès le début de la diminution de tension de la veine, on voit que toutes les vésicules occupant la périphérie sont bientôt entraînées dans le mouvement rétrograde. Celles qui continuent à cheminer dans le courant gazeux s'éliminent au fur et à mesure que le mouvement parabolique les rapproche de la périphérie. Enfin les gouttelettes qui vont jusqu'au bout de leur trajectoire, rencontrent les unes la zone d'arrêt naturel de la vapeur, les autres le métal même du ralentisseur. Qu'est-ce qui s'échappe ? La petite quantité de gouttelettes qui n'a pu sortir à temps de la veine centrale, y étant rentrées en tombant du haut !

Si l'on cherche à évaluer cette quantité, on voit que la perte possible serait au plus un huitième de la quantité totale de sucre entraînée, en tenant compte de la différence de densité des couches successives.

L'effet utile d'un ralentisseur serait donc d'environ 88 %. Il est probable que ce calcul est au-dessous de la vérité, et que l'effet utile est plus grand encore. En effet, j'ai souvent observé que la substitution d'un ralentisseur à un vase de sûreté ordinaire permet de recueillir beaucoup de sucre qui s'échappait primitivement dans les condensations; mais qu'il était impossible de décélérer la présence de substance saccharine dans les condensations à la suite d'un ralentisseur bien conditionné, même dans les caisses à sirop.

Nous avons parlé précédemment de la contraction de la veine qui se produit au sortir du petit tuyau de diamètre d au moment où elle pénètre dans l'atmosphère ou dans le grand tuyau. Il est intéressant, pour la théorie, de savoir où se fait la contraction de la veine.

On peut s'en rendre compte facilement en faisant circuler rapidement de l'eau dans un ensemble de deux tuyaux de diamètres différents, analogue à celui qui nous occupe, et en la chargeant de bulles d'air.

Quand l'eau seule traverse le couple, elle remplit intégralement les deux tubes, aucun espace du gros tuyau en avant ou en arrière du mouvement de la veine ne restant vide.

Mais, si dans le courant d'eau on fait pénétrer des bulles d'air, celles-ci dessinent la veine, sont projetées loin d'abord dans le courant, puis une partie d'entre elles revient en arrière avec une grande vitesse, tandis que celles qui suivent le courant augmentent de volume dans une proportion considérable, et, à un certain point, restent stationnaires. Elles sont au point où la vitesse du courant est nulle. Cependant, dans l'axe, les bulles qui continuent le mouvement ralenti de la veine, démesurément grossies, s'échappent avec l'excédent d'eau.

Or, la dépression de la veine se fait après la sortie du petit tuyau au moment où elle pénètre dans le grand, et d'autant plus loin de cette sortie que la différence $D - d$ est plus petite. Ceci est rationnel puisque lorsque $D = d$, c'est-à-dire quand on a un mouvement gazeux dans un tuyaux débouchant à gueule bée, la dépression se trouve dans le tuyau même immédiatement à la sortie.

Il y a donc avantage encore, de ce fait, à rendre la différence $D - d$ aussi grande que possible, c'est-à-dire à avoir de grands ralentisseurs, et nous avons indiqué précédemment dans quelle proportion.

Cette expérience montre donc encore comment les vésicules sucrées se comportent dans ces appareils, grossissant au fur et à mesure de la dilatation de la veine au point d'éclater.

Disons un mot de l'appareil Hodeck. Pourquoi produisait-il une perte de charge telle qu'on a dû l'abandonner ?

Les diaphragmes de l'appareil Hodeck sont autant d'obstacles présentant des ouvertures en minces parois. Or, une ouverture en mince paroi donne une perte de charge $\varphi = 0,65$, d'où résulte que la vitesse de la vapeur, après chaque diaphragme, est réduite aux soixante-cinq centièmes de ce qu'elle était antérieurement, de sorte que s'il y a quatre diaphragmes comme dans les premiers Hodeck, la vitesse n'est plus que 0,18 % de sa vitesse initiale, comme je l'ai constaté à propos d'un différend entre constructeur et fabricant. On réduisit plus tard les diaphragmes au nombre de deux, ayant ainsi une perte de charge de 42 %, jusqu'à ce qu'enfin on supprimât complètement ces obstacles dont on pouvait se passer si facilement.

Néanmoins, comme c'est l'appareil Hodeck qui a le premier mis les constructeurs sur la voie de l'usage des ralentisseurs, et que ceux-ci ne sont en définitive qu'une simplification et un perfectionnement de l'appareil Hodeck, nous devons lui garder la part historique qui lui appartient dans le progrès de la construction des appareils d'évaporation.

En résumé, dans un appareil d'évaporation quelconque, il faut, pour éviter les entraînements de sucre dans l'eau condensée, donner une grande hauteur à la calandre au-dessus du niveau supérieur du jus, et la faire suivre d'un ralentisseur de dimension suffisante et relié à la chaudière par un tuyau de grand diamètre.

En prenant ces précautions, les pertes de sucre par entraînement seront très sensiblement nulles.

§ 6. — Condenseurs avec colonnes barométriques.

Dans l'édition du *Traité de la chaleur* de Péclet de 1843 (§ 1241) on trouve la description d'un appareil à cuire dans le vide construit par Pelletan, fort intéressant au point de vue historique. Péclet décrit ainsi le condenseur de cet appareil dont il est inutile de donner ici le dessin, la description se comprenant sans cela.

« N N cylindre vertical destiné à la condensation de la vapeur ; il contient dans son intérieur douze planchers horizontaux percés de trous pour l'écoulement de l'eau de condensation ; le premier de ces planchers est plein, mais sa circonférence est écartée d'un demi-pouce de l'intérieur du cylindre ; le suivant touche la paroi du cylindre, mais est percé à son centre d'un trou à bords relevés de deux pouces de diamètre, et ainsi de suite. Par cette disposition on augmente le

« nombre des points de contact de la vapeur avec l'eau de condensation.

« O robinet à cadran qui règle l'entrée de l'eau de condensation dans
« la *partie supérieure* du condenseur.

« *p* est un tuyau qui part du fond du condenseur et qui descend à
« 30 pieds, soit qu'on le fasse plonger dans un puits, soit que le conden-
« seur se trouve placé à des étages supérieurs d'un bâtiment ; ce tuyau
« *p* plonge par son extrémité inférieure dans un vase ouvert qui de-
« meure toujours plein d'eau et qui s'oppose à la rentrée de l'air dans
« le tube.

« ... H H tuyau partant du sommet de la coupole (de la chaudière)
« pour se rendre *au bas* du condenseur N N...

« ... *a* robinet (placé dans le haut du condenseur) pour entraîner
« l'air ou la vapeur contenus dans le condenseur et dans la chau-
« dière... »

Cette disposition si ancienne est restée longtemps dans l'oubli. Elle fut reprise par les constructeurs Autrichiens il y a quelques années sous le nom de *condenseur à colonne barométrique*. Les Allemands et les Russes suivirent cet exemple, et il n'y a pas bien longtemps que les Français la connaissent. Et cependant c'est une invention bien française comme on peut le voir par l'extrait ci-dessus.

La seule différence qui existe entre l'appareil ancien et le nouveau, c'est que Pelletan enlevait l'air et les gaz incondensables du condenseur au moyen de son système d'injecteur, dont l'appareil Koerting n'est qu'un perfectionnement, très heureux du reste, tandis que de nos jours c'est une pompe à air qui est chargée de ce soin.

Le *condenseur barométrique* se compose donc comme nous venons de le voir, d'un condenseur quelconque muni de sa pompe à air, et surmontant un long tuyau de 10 mètres, vertical et plongeant dans une bêche à niveau constant.

On sait, en effet, que la pression atmosphérique fait équilibre à une colonne de mercure de 0^m,76 ou bien à une colonne d'eau de 10^m,33 ; c'est-à-dire que, en mettant en communication la partie supérieure de la troisième chaudière avec un tube de 12 mètres de haut, par exemple, plongeant dans l'eau par son autre extrémité, si l'on établissait dans cette chaudière le vide parfait, l'eau monterait à une hauteur de 10^m,33 dans le tube, et à une hauteur moindre si le vide est moins grand. On construit donc l'appareil de la manière suivante. Au sortir du vase de sûreté, le tuyau qui sert à l'écoulement des vapeurs, A, rejoint le sommet d'un tube de 10 ou 11 mètres de haut (fig. 121) dont la partie supérieure forme le condenseur. Celui que représente notre dessin est une disposition fort usitée en Allemagne.

Dans l'axe du condenseur est un tuyau BB' percé de trous par lequel s'échappe l'eau froide qui doit provoquer la condensation des vapeurs. La partie inférieure du tube barométrique plonge dans un bac à eau C. Dès que le vide s'établit, l'eau du bac remonte à une certaine hauteur, mais l'eau projetée et l'eau condensée tombent sur le sommet de la colonne liquide dont le niveau reste cependant constant ; dès lors l'eau qui s'était élevée d'abord redescend dans le bac pour faire place à celle qui tombe du haut, en sorte qu'il s'établit un courant d'eau descendant dans le tube, et l'eau excédente s'échappe par un trop-plein du bac dans lequel plonge l'extrémité du tube barométrique. Ici il n'est plus besoin de pompe pour enlever l'eau, l'écoulement des eaux se faisant naturellement.

Le tuyau D du sommet de l'appareil est relié avec la pompe à air de telle façon que son aspiration n'enlève que les gaz incondensables sans entraîner ni vapeur ni eau.

Remarquons en passant que pour élever l'eau de condensation à 12 ou 13 mètres de haut il faut une forte pompe, et quoique la pompe à air des colonnes barométriques soit plus petite, en somme on est obligé dans ce cas d'avoir deux pompes, ce qui, en général revient plus cher que d'avoir une seule pompe à air.

L'application de la colonne barométrique est-elle un progrès en sucrerie ? Pour être un progrès il faudrait qu'elle améliorât la marche des appareils. Or, avec une bonne pompe à air ordinaire, de grandes dimensions comme celles que nous avons décrites, on obtient dans les appareils un vide aussi bon qu'avec une colonne barométrique. Donc cette dernière n'apporte aucune amélioration au travail.

Seulement une pompe à air humide est une grosse machine, difficile à construire bien, tandis que la pompe nécessaire à la colonne baromé-

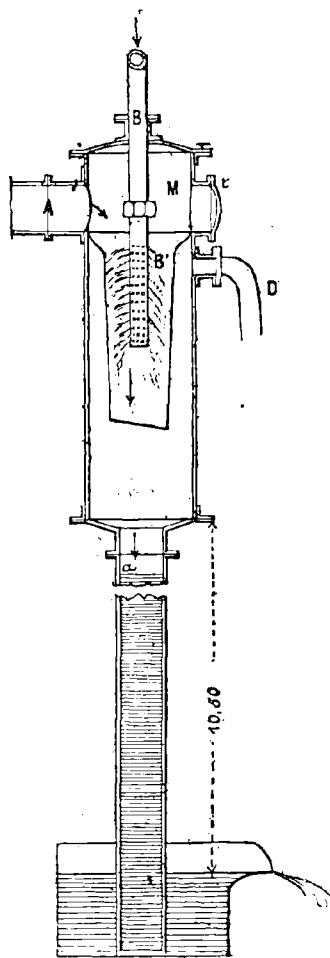


Fig. 121.

trique est de bien moindre importance. Mais il faut la doubler d'une forte pompe à eau. Est-ce donc un progrès d'avoir à soigner deux machines au lieu d'une ? Peut-être ; parce que la pompe à air sèche demande beaucoup moins de soins et d'entretien que la pompe humide qui s'en-crasse constamment de dépôt et dont il faut souvent changer les clapets, et que, de plus, une pompe à eau de plus ou de moins dans une sucrerie est une petite affaire.

Le condenseur barométrique n'a réellement son intérêt que lorsque l'on possède un seul condenseur pour toute l'usine, soit pour l'évaporation et toutes les cuites. Un condenseur central ne peut être que barométrique. Et alors il y a une réelle économie de matériel.

En tout cas la colonne barométrique de Pelletan est fort en honneur aujourd'hui ; mais quand une sucrerie change son système ordinaire pour celui-ci, c'est la plupart du temps qu'on attribue au dernier beaucoup de vertus qu'il n'a pas. Aussi faut-il regarder à deux fois avant de faire ce changement.

Le condenseur proprement dit de Pelletan, si bien décrit par Pécelet, et dont la figure 122 donne un exemple, est fort usité en Autriche. Il se nomme condenseur à *contre-courant* parce que la vapeur marche de bas en haut du condenseur, tandis que l'eau coule de haut en bas, en sens inverse.

Le condenseur que nous avons décrit ensuite (fig. 121) est à *courants parallèles*, l'eau et la vapeur cheminant ensemble dans le condenseur. D'ailleurs, ces condenseurs à courants parallèles peuvent être également à cascade comme celui décrit précédemment pour les eaux incrustantes et sablonneuses.

Lequel des deux systèmes est le meilleur ? C'est assez difficile à dire, car ils fonctionnent également bien. Néanmoins, comme les avis sont partagés, il arrive très souvent, pour contenter tout le monde, que l'on met deux condenseurs à la suite l'un de l'autre, le second plus petit que le premier, et alors l'un est à contre-courant et l'autre à courants parallèles.

Cette disposition de deux condenseurs est très bonne. Le second condenseur se trouve alors entre le premier et la pompe à air sur le trajet du tuyau qui enlève les gaz non condensables du premier. S'il échappe de la vapeur du premier condenseur, elle est condensée par le second. De plus, comme l'action est très active dans le premier, il y a parfois des entraînements d'eau par la pompe à air sèche, et alors le second condenseur sert de vase de sûreté. Nous recommandons d'adopter autant que possible cette disposition de deux condenseurs successifs.

Le diamètre des condenseurs barométriques est donné par cette

condition que la vitesse de la vapeur ne doit pas y excéder 15 mètres, vitesse suffisante pour éviter les entrainements de l'eau d'injection.

La colonne barométrique par elle-même doit être de gros diamètre, 30 centimètres au moins, parce que c'est là que se forment les dépôts, et si le diamètre était trop faible elle serait bien vite bouchée par les incrustations.

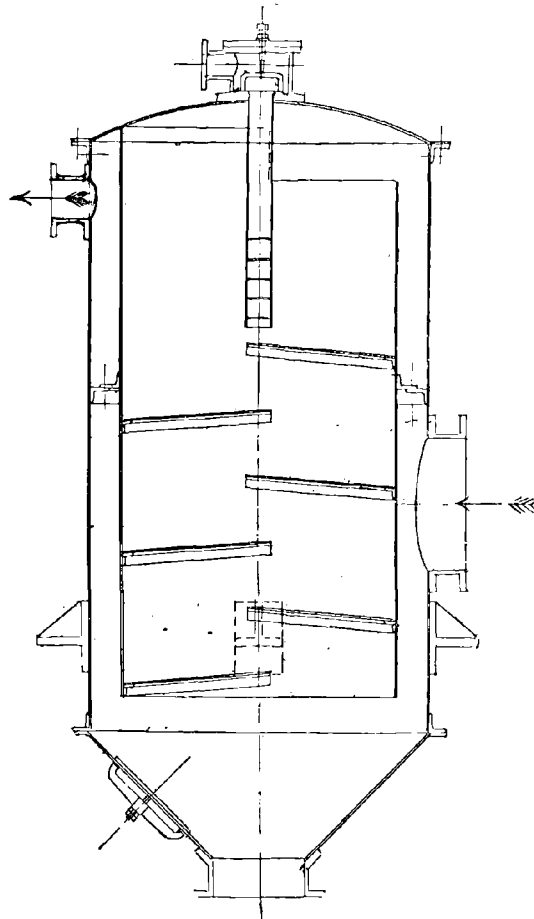


Fig. 122.

Le bac de décharge doit avoir une capacité plus grande que celle représentant le volume intérieur de la colonne, attendu que quand on met en route il faut qu'il y ait assez d'eau dans ce bac pour remplir toute la colonne, sinon l'air rentre, et la mise en route est très pénible. Ceux qui ont des petits bacs de décharge sont toujours très ennuyés

soit à la mise en route, soit lorsque le vide a baissé tout à coup dans le dernier corps pour une raison quelconque.

§. 7. — Pompes à air sèches.

Avec le condenseur barométrique la pompe n'a plus à enlever que des gaz. Nous avons trouvé précédemment que, sur 94 litres environ que la pompe humide devait extraire en eau et gaz, l'eau entrainait pour 30 litres. Ce n'est donc plus que 64 litres de gaz que devrait avoir à retirer du condenseur la pompe à air sèche.

Nous avons supposé à 60° les vapeurs du dernier corps. Si nous admettons un vide plus parfait donnant 55° aux vapeurs, par exemple, nos 64 litres deviendront environ 80 litres. Il vaut mieux calculer ces pompes sur un maximum plutôt que sur une moyenne, parce que leur fonctionnement étant de beaucoup meilleur que celui des pompes humides, on se rapproche davantage de la vérité en chiffrant les dimensions d'après le plus grand travail qu'elles ont à faire.

Les pompes à air sèches sont de véritables machines pneumatiques munies de tous les perfectionnements que comportent ces machines, y compris le robinet de Babinet que l'on a remplacé par un dispositif plus mécanique, mais reposant sur les mêmes principes.

L'ennemi des machines pneumatiques c'est l'espace laissé entre le fond du cylindre et le piston. Dans les appareils industriels ces *espaces nuisibles* sont encore plus considérables que dans les appareils de physique. En effet, dans les pompes à air sèches on a abandonné complètement les clapets battants pour les remplacer par des tiroirs, mais les conduits allant aux tiroirs, la capacité du tiroir lui-même, sont autant d'espaces qui empêchent un vide absolu de se produire.

Le calcul de la pression limite π à laquelle on peut arriver dans une machine pneumatique se fait ainsi :

Soit V le volume du corps de pompe, v l'espace nuisible.

L'air contenu en v possède au moment où l'on arrive à fin de course une pression P égale à la pression atmosphérique, puisque l'espace nuisible se trouve dans les pompes ordinaires en communication avec l'atmosphère au moment où le piston est à ce point. Cette quantité d'air v , avait auparavant le volume du cylindre V . Sa pression était donc

$P \frac{v}{V}$. Or, cette pression était égale à π , on a donc :

$$(1) \quad \pi = P \frac{v}{V}.$$

donc π sera d'autant plus petit que v sera plus petit lui-même.

Le dispositif qui remplace le robinet de Babinet est un second tiroir qui met le fond du cylindre où se trouve la pression π avec l'autre partie où l'on a le vide maximum II. Dans le cylindre on avait avant le mouvement de recul la pression $\pi \cdot \frac{v}{V}$ (exactement comme on avait $P \frac{v}{V}$ tout à l'heure) ou, en remplaçant π par sa valeur (1), on a :

$$(2) \quad \text{II} = P \frac{v^2}{V^2}$$

donc le second tiroir augmente considérablement le rendement de la pompe et d'autant plus que v est plus petit par lui-même et par rapport à V . Ainsi si $\frac{v}{V} = \frac{1}{10}$, $\frac{v^2}{V^2} = \frac{1}{100}$ on voit à quel résultat on peut arriver lorsque $\frac{v}{V}$ est fort petit.

Par conséquent, toute l'attention des constructeurs doit être portée à réduire le plus possible les espaces nuisibles et ramener la pression π dans ces espaces nuisibles au minimum possible.

Or, malgré ces inventions nouvelles une pompe à air sèche ne donne rarement plus que 80 à 85 % de rendement, et souvent beaucoup moins. On est donc encore loin de la perfection, mais il faut constater que l'on est beaucoup plus près de la vérité qu'avec les pompes à air humide qui ont un si faible rendement.

Si nous supposons un rendement de 80 %, notre pompe sèche devra donc engendrer 100 litres, au lieu de 400 que nous avons trouvé pour la pompe humide.

De plus, ces pompes peuvent tourner beaucoup plus vite que les pompes contenant de l'eau, soit 90 tours au lieu de 45, en sorte qu'une pareille pompe sera dans le rapport de $\frac{100}{2}$ à 400, soit $\frac{1}{8}$ en volume de leur cylindre avec celui des pompes à air humide.

Description des pompes à air sèches. — Nous avons dit que les pompes à air sèches se composaient d'un cylindre avec distribution à tiroir comme dans un cylindre à vapeur. Il n'y a en effet aucune différence sous ce rapport.

L'objet principal visé par les constructeurs est l'égalisateur de pression que l'on doit chercher à rendre aussi simple et aussi actif que possible.

La maison *Wegelin et Hubner*, à Halle-sur-Saale, construit des pompes à deux tiroirs.

L'aspiration se fait sous la coquille du tiroir principal dans l'espace qui se trouve en communication avec les conduites, alternativement en avant et en arrière du piston.

Le refoulement de l'air se fait par un conduit spécial qui contourne intérieurement la coquille. Quand l'air refoulé a acquis une certaine pression il soulève une soupape et se rend dans la boîte à tiroir en communication avec l'atmosphère. Il faut donc un certain effort à l'air pour sortir, effort mesuré par la pression du ressort sur la soupape.

Quand le piston est à bout de course, l'air comprimé derrière lui, et dont la majeure partie se trouve dans les conduites, est aspiré par le vide qui existe sur l'autre face du piston, grâce au second tiroir qui fait communiquer les espaces nuisibles entre eux. C'est là, à proprement parler l'*égalisateur* de pression.

Il y a un certain retard dans la marche du tiroir principal pour permettre à l'*égalisateur* d'avoir une efficacité plus grande, le vide derrière le piston étant plus grand que dans l'appareil à cause de ce retard.

Ces machines bien construites et étudiées avec soin donnent de très-bons résultats.

Antérieurement à Wegelin et Hubner, la maison *Burckhardt et Weiss* de Bâle avait construit une pompe à un seul tiroir (fig. 123) répondant admirablement aussi au but proposé et ayant l'avantage d'être plus simple puisqu'elle supprime un organe, d'où moins de chances de fuite.

La coquille du tiroir porte dans son épaisseur un petit conduit circulaire en communication avec deux lumières étroites ménagées sur les glaces de droite et de gauche du tiroir. Quand le tiroir est à sa position moyenne, ces lumières sont en face des conduites d'aspiration et de refoulement, en sorte qu'à ce moment il y a communication entre les deux extrémités du cylindre. Ce moment est celui où le piston est à bout de course. Il y a donc égalisation de pression comme précédemment.

Comme addition à la description du tiroir, disons que les gaz au lieu de s'échapper directement dans l'atmosphère quand le tiroir découvre les conduites de refoulement, sont forcés de soulever un clapet plan sous lequel il glisse et qui est retenu en place par un ressort. Cela empêche toute entrée d'air possible au moment où le tiroir mobile arrive au point critique à l'aspiration.

Il y a comme dans la précédente pompe un retard à l'aspiration et au refoulement exactement dans les mêmes conditions. Nous avons décrit la théorie de cette pompe à propos des fours à acide sulfureux. (p. 372).

Bien d'autres systèmes de pompes sèches existent encore mais dérivent tous de ces deux types et fonctionnent presque de même manière, donnant tous les mêmes bons résultats.

De tous ces systèmes celui qui aura le moins de chances de fuites, qui sera le plus simple et le plus rustique sera le meilleur, surtout s'il est bien étudié par le constructeur. Malheureusement, ce dernier point n'est pas toujours observé. Aussi le fabricant, désireux d'avoir une bonne pompe ne devra-t-il en faire l'acquisition qu'après une étude sérieuse de l'appareil qu'on lui livre.

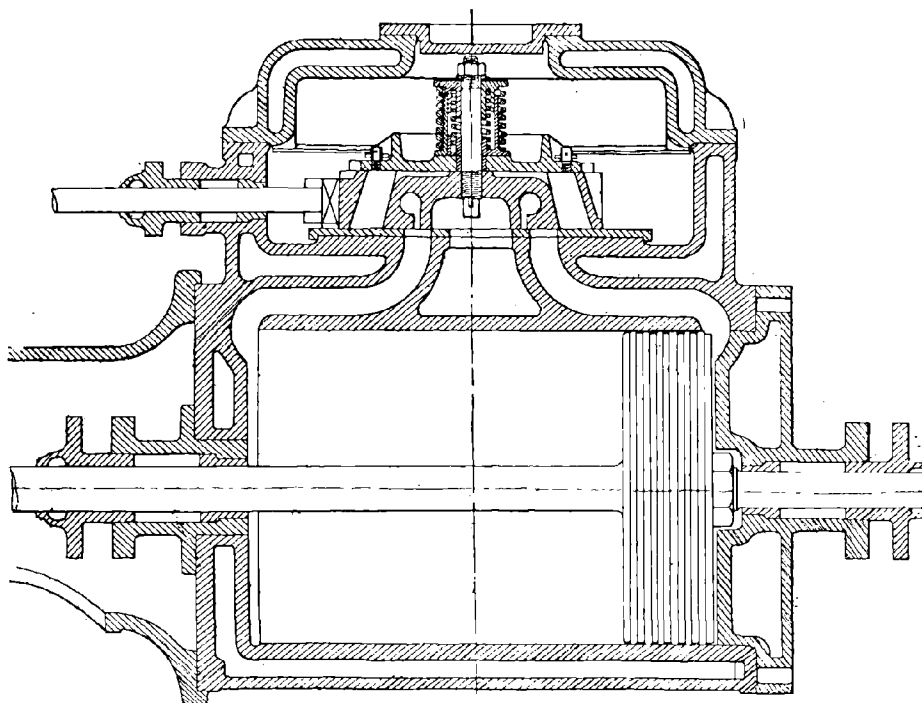


Fig. 123.

§ 8. — Eau d'injection.

L'eau est fournie par une pompe spéciale installée dans l'usine pour éviter la gelée, et envoyant cette eau dans les réservoirs placés dans les étages supérieurs.

Le modèle de pompe est indifférent, pourvu qu'il fournisse assez d'eau. La prise d'eau doit être soignée d'une façon particulière, car il est indispensable d'avoir une eau propre, exempte d'impuretés organiques ; on devra donc munir la prise d'eau d'une grille ou d'une lanterne en tôle perforée. On ne devra pas placer l'extrémité de tuyau à proximité du sol, de manière à ce qu'il n'entraîne pas de sable ou de mousse ;

s'il est dans un lac, rivière ou large espace, il sera bon de l'entourer de pièces de bois verticales rapprochées, arrêtant les corps flottants. On peut même faire autour deux rangées de ces pilotis et mettre dans l'intervalle des cailloux grossiers, du charbon même, pour filtrer plus complètement l'eau.

REFROIDISSEURS

Dans les usines où l'eau est peu abondante on recueille celle provenant des pompes du triple-effet et des chaudières à cuire dans des rivières artificielles faisant de longs circuits et où elle se refroidit, condition nécessaire pour qu'elle soit propre de nouveau à la condensation.

Si l'usine manque de place pour pouvoir établir ces rivières, on a recours à des appareils refroidisseurs. Rillieux emploie pour cet usage une sorte de tour carrée dans laquelle pendent des toiles fort rapprochées. Sur ces toiles tombe l'eau à refroidir. Un puissant ventilateur chasse l'air en sens inverse et provoque ainsi l'évaporation d'une certaine quantité du liquide qui produit un abaissement considérable de la température ; l'eau sort de là à quelques degrés au-dessous de la température ambiante. On règle donc la température de l'eau au moyen de la vitesse du ventilateur. C'est le plus parfait des appareils à refroidir.

On lui a substitué, un appareil qui ne vaut pas la dixième partie de celui-là, et qui est formé d'une haute estacade en bois à plusieurs étages sur lesquels on empile des fagots. On fait remonter par une pompe l'eau du bas de l'estacade jusqu'en haut. Alors elle retombe sur ces fagots et éprouve un refroidissement rapide. Sur les indications de Rillieux on a plus tard supprimé les fagots (vers 1882) et les on a remplacés par des planchers en lattes rapprochées qui divisent très bien l'eau, et laissent plus d'espace à l'air pour circuler entre les planchers. Tous ces appareils d'ailleurs perdent beaucoup d'eau par évaporation (cause du refroidissement) et par entraînement lorsqu'il y a des coups de vent.

Mais ces eaux refroidies sont moins pures que les eaux naturelles en matières organiques ; il est bon, pour les divers usages de l'usine, d'utiliser l'eau nouvelle et de ne se servir des eaux refroidies que pour la condensation dans les appareils.

Cependant ces eaux ont une certaine valeur dans les pays où l'eau est calcaire ou séléniteuse. En effet, après ce chauffage dans la condensation, elle s'est débarrassée de ses sels qu'elle a déposés dans les vases où s'est effectuée cette élévation de température. Toute cette masse d'eau est donc d'une pureté très grande en sels calcaires relativement à l'eau naturelle qu'on peut se procurer dans le pays.

On devra donc la conserver avec précaution, la refroidir et l'utiliser

de préférence à toute autre dans la condensation, et l'on sera payé du surcroît de travail que procurera cette opération par l'absence des incrustations et des ennuis que procurent les eaux impures.

On a proposé de filtrer ces eaux sur du noir ou seulement sur du charbon de bois pour la débarrasser de ses impuretés organiques. On peut, en effet, exécuter cette filtration pour une petite portion des eaux nécessitées soit pour les générateurs, soit pour tout autre usage, sans filtrer le tout; on obtiendra ainsi facilement ce résultat important de n'avoir plus besoin pour tout le travail de l'usine que de l'addition de très peu d'eau naturelle impure, et de ne plus craindre aucun des accidents que causent souvent les eaux calciques; les mêmes résultats seront obtenus avec profit dans les pays où l'on ne dispose en abondance que d'eau salée.

§ 9. — Chaudières horizontales.

Les premiers appareils d'évaporation à effets multiples dans le vide construits industriellement par Rillieux étaient horizontaux, en forme de chaudières de locomotive (fig. 101, 102).

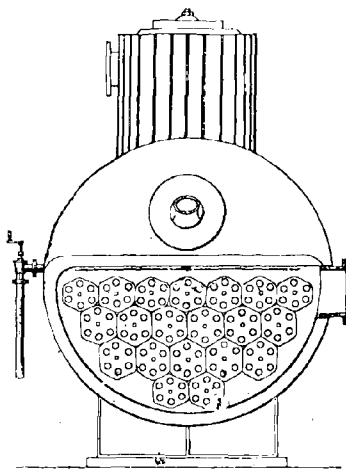


Fig. 124

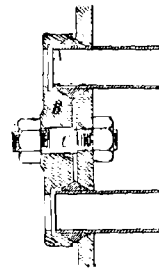
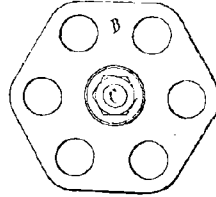


Fig. 125

C'est sous cette forme qu'ils s'introduisirent en Europe. L'Allemagne conserva cette disposition jusqu'à nos jours. En France, les appareils verticaux prévalurent de suite sous l'impulsion puissante de Cail.

Les appareils Rillieux avaient leurs tubes inamovibles comme ceux des

générateurs. Mais comme ils sont sujets à se charger d'incrustations, les ingénieurs cherchèrent des moyens commodes pour nettoyer ces tubes.

On commença par substituer aux tuyaux fixes, des tuyaux taraudés et vissés dans les plaques avec écrous en bronze aux extrémités. Puis on fit des joints en caoutchouc vulcanisé qui résiste suffisamment à la chaleur relative des caisses. Enfin on groupa ces tubes, par trois, par quatre, par six, et même huit aujourd'hui (fig. 124 et 125) de telle sorte que toutes les têtes fussent serrées d'un seul coup par un seul boulon C.

A cet effet la plaque de serrage B est faite de telle sorte qu'elle emboîte des bagues en caoutchouc passées autour de l'extrémité des tubes. La plaque tubulaire elle-même est fraisée autour des tubes pour faire la contre-partie des plaques de serrage. De la sorte le caoutchouc est serré fortement contre les tubes avec un petit effort fait sur le boulon.

Cet assemblage fait gagner beaucoup de temps au montage et démontage des tubes pour le nettoyage, et donne des joints fort étanches.

Les appareils Rillieux et les appareils Allemands en général (fig. 124), avaient un gros inconvénient. L'espace laissé pour la vapeur au-dessus du jus était trop faible, et les entraînements, à cause de cela, très considérables.

C'est en Autriche que l'on a cherché à améliorer cette construction défectueuse, et les appareils horizontaux autrichiens sont les meilleurs, à ce point de vue, que l'on construise aujourd'hui.

Nous allons décrire entre autres types ceux de la maison Breitfeld-Danek de Prague, qui s'est acquis une réputation justifiée sous le rapport de la construction de ces appareils.

Les chaudières d'évaporation autrichiennes, en général, ressemblent à des chaudières de Watt, en *tombeau* comme on les appelait alors. C'est un grand parallépipède surmonté d'une partie hémicylindrique sur sa longueur. Le fond est parfois plat, comme dans la construction Jelinek qui lui définissait la forme d'une *malle*, parfois légèrement arrondi. C'est ce dernier exemple que nous choisissons comme étant plus rationnel au point de vue de la solidité.

Les figures 126, 127, 128 représentent une chaudière horizontale construction Breitfeld-Danek devant servir de premier corps.

Elle se compose d'un grand corps en forte tôle solidement armé, ayant 4 mètres de longueur, 2^m,750 de hauteur dans son plus grand axe, avec une largeur de 2^m,100.

Cette caisse est tubée sur une hauteur de 0^m,950, ce qui lui donne une hauteur de jus de 1 mètre environ, 1^m,100 maximum. Les tubes ont 40 millimètres de diamètre.

Les tubes sont groupés par 4 et par 8 au moyen de plaques de serrage telles que celles que nous avons décrites précédemment.

En avant et en arrière des tubes sont des chambres de vapeur en

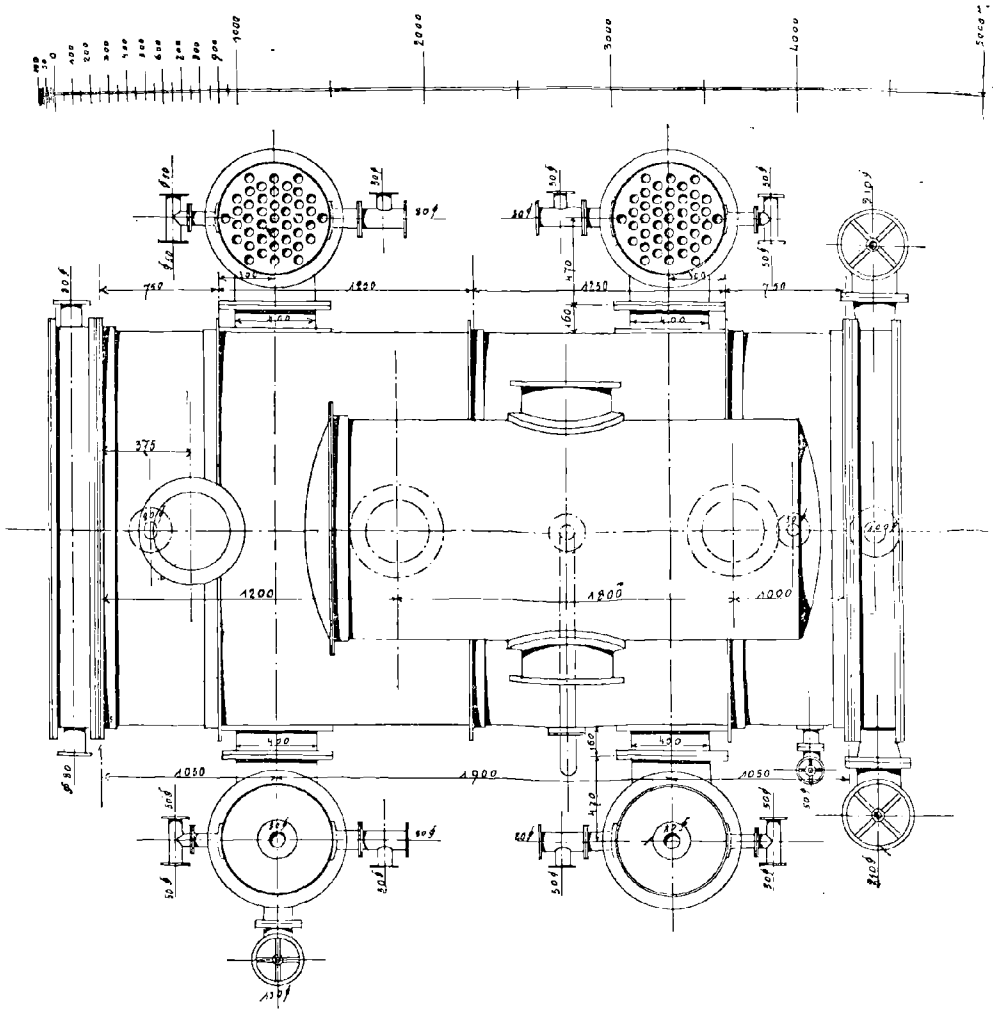


Fig. 126.

fonte ou en tôle, séparées en compartiments par des séparations horizontales. Il y en a trois en avant, deux en arrière.

Le compartiment du haut, en avant, reçoit la vapeur de retour qui se répartit dans quatre rangées de tube. Cette vapeur parcourt les tubes, entre dans la chambre de vapeur d'arrière, et revient en avant par trois

rangées de tubes, guidée dans ce retour par la séparation unique de la chambre de vapeur d'arrière.

Après ce parcours la vapeur revient encore en arrière par trois rangées de tubes, puis en avant par trois nouvelles rangées.

On remarque que, à cause de la forme arrondie du fond, le nombre

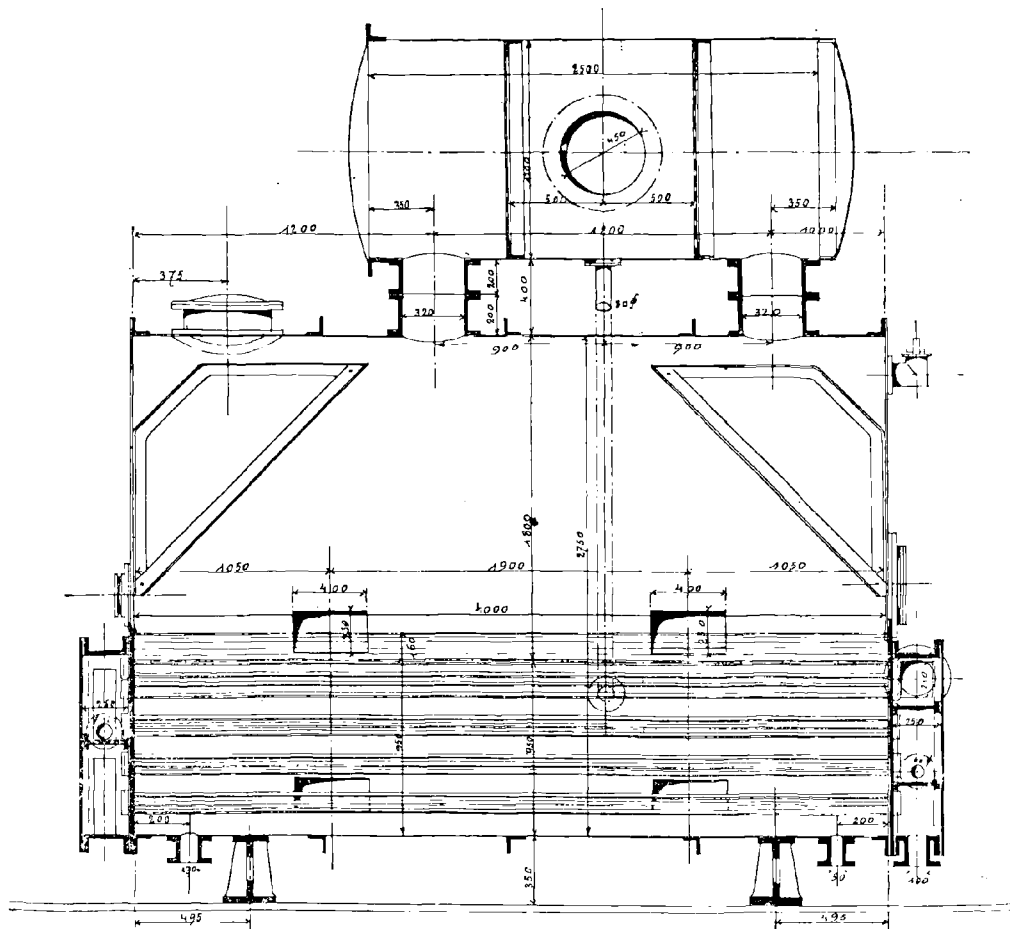


Fig. 127.

de tubes dans les rangées va en diminuant. Or cela répond aux besoins de la condensation, la quantité de vapeur étant de moins en moins abondante sur tout le parcours, jusqu'à ce qu'elle arrive au bout du dernier circuit entièrement condensée.

L'eau condensée est évacuée dans chaque compartiment par une tubulure arasant le fond de la séparation, de manière à ce qu'elle ne

revienne pas en arrière avec la vapeur. De ces tubulures partent des tuyaux se réunissant tous sur la même boîte de purge.

La vapeur de retour arrive dans le compartiment du haut par les deux extrémités du compartiment au moyen de deux grandes valves. On n'y

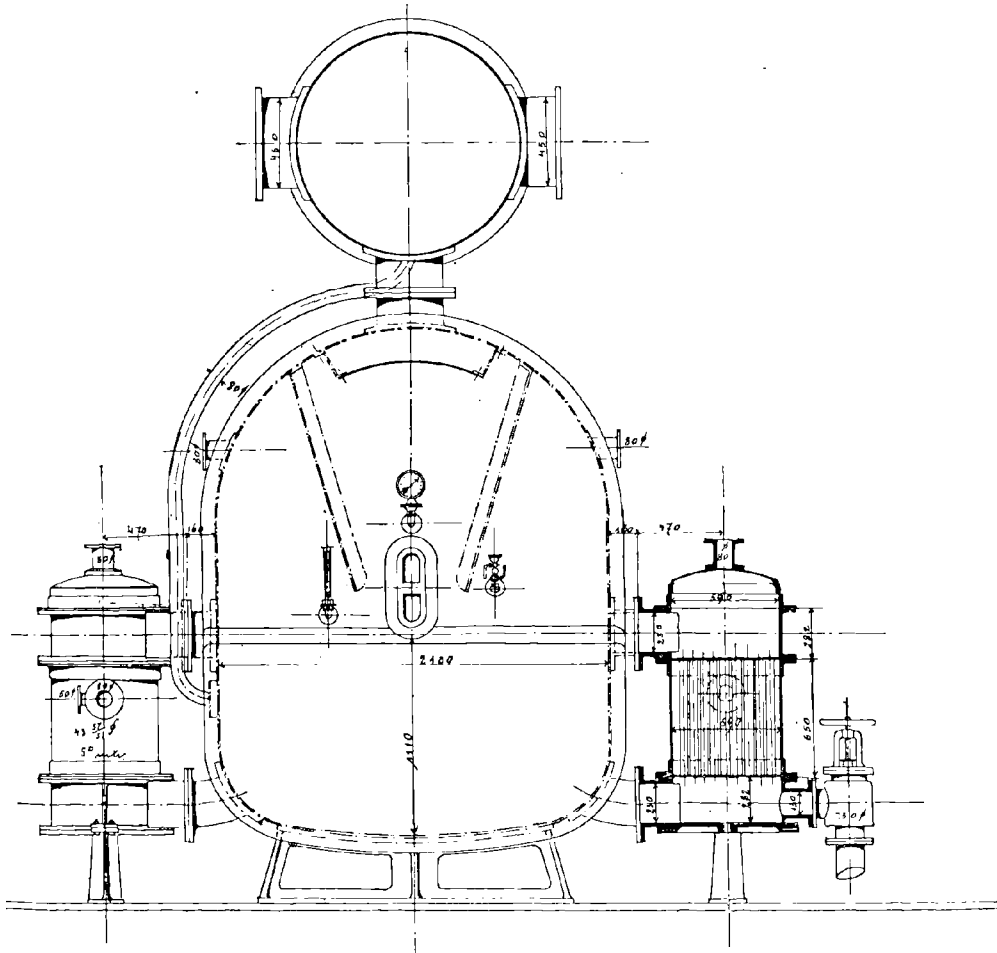


Fig. 128.

ajoute de vapeur directe que celle qui est nécessaire pour avoir la pression voulue dans les retours. La plupart du temps on n'en ajoute pas, cette pression pouvant s'obtenir autrement, comme nous allons le voir. Mais auparavant finissons la description de la caisse.

La vapeur formée par le jus s'élève dans cette haute calandre qui

laisse un vide de 1^m,800 au-dessus du liquide. Elle entre alors dans un vase de sûreté horizontal placé au-dessus.

Le vase de sûreté est un grand cylindre de 1^m,200 de diamètre. La vapeur y pénètre par deux fortes tubulures aux deux extrémités afin d'en sortir par le centre. Sur le dessin on a figuré, à droite et à gauche de la tubulure de sortie, deux plaques perforées pour retenir les vésicules sucrées, comme dans l'appareil Hodek. Nous supprimons ces tôles comme nous l'avons dit précédemment.

L'armature des caisses comporte en outre des lunettes à l'avant et à l'arrière, un indicateur de vide, robinet à beurre, thermomètre, et niveau d'eau, comme dans toute autre caisse, enfin en haut une petite soupape de sûreté d'avertissement; sur le dessus, ou à l'arrière, un trou d'homme.

Le vase de sûreté porte en outre un tuyau partant du dessous pour rentrer dans la chaudière les gouttelettes entraînées. L'alimentation du jus se fait comme d'ordinaire sur le côté au-dessus du niveau maximum du jus, et la vidange par en dessous.

Mais la caisse représentée ici étant un premier corps, elle est munie de *quatre* circulateurs. Ce sont des petits réchauffeurs tubulaires verticaux en communication de jus avec les caisses par d'énormes tubulures quadrangulaires, celles du haut arrivant à la hauteur du jus dans la caisse, en sorte que ces réchauffeurs sont toujours pleins du jus de la caisse et le niveau y est le même. Le jus circule donc dans l'intérieur des tubes.

A l'extérieur des tubes des circulateurs on fait entrer de la vapeur directe, celle qui est nécessaire pour opérer l'évaporation du jus, et que, sans circulateurs, on ajouterait à la vapeur de retour. Cette vapeur directe produit l'ébullition du jus, qui fournit dans la calandre assez de vapeur pour entretenir la pression normale. C'est pourquoi la pression de la vapeur de retour augmente parallèlement au plus grand effet des circulateurs.

Sur le couvercle des circulateurs un tuyau supplémentaire communique avec la calandre pour l'échappement des vapeurs formées lorsque l'ébullition est tellement vive que les tubulures sont engorgées par le remous du jus.

L'alimentation du jus de la caisse se fait au travers des circulateurs et non directement sur la caisse elle-même.

Ces appareils ont en outre un avantage. Ils provoquent dans la masse des jus une *circulation* rapide très propre à l'augmentation de l'évaporation. Il est entendu que les circulateurs ne s'appliquent qu'au premier corps. Les autres corps sont identiques au premier mais ne comportent pas de circulateur.

Telle est en quelques mots la structure de ces beaux appareils qui ont de 200 à 500 mètres carrés, et dont les dimensions varient avec la surface de chauffe. Ce sont des morceaux grandioses et imposants par leur masse.

Ces appareils horizontaux réclament de la hauteur sous toiture et une grande longueur de plancher.

Les caisses à fond plat ont un certain avantage, c'est de diminuer la hauteur du jus en ébullition. Mais elles ont besoin d'être armées beaucoup plus fortement que les autres. Néanmoins on les préfère généralement, car la surface de chauffe y est peut-être mieux répartie. Chaque disposition a d'ailleurs ses avantages et ses inconvénients.

Comme toutes les constructions d'appareils horizontaux ressemblent à celle-là, nous n'en décrivons pas d'autre.

Disons seulement, pour rendre justice à la vérité, que l'un des plus grands propagateurs des chaudières horizontales est sans contredit Jelinek de Prague, dont les appareils, plats par en dessus, sont très répandus.

Une autre maison a fait aussi de très bonnes caisses horizontales, à peu près inconnues dans nos régions, mais fort appréciées en Russie, c'est la Société Bormann-Schwede de Varsovie.

Il semble que tous ces constructeurs se soient rencontrés à la même époque dans la même idée de rehausser les calandres, car il est bien difficile à dire quel est le premier qui a commencé à établir ce genre d'appareils. Il y a même eu un procès qui n'a pu aboutir à démêler la priorité. D'ailleurs la question de paternité n'a plus aujourd'hui aucun intérêt.

§ 10. — Comparaison entre les caisses d'évaporation verticales et horizontales.

(COMMUNICATION A L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DES CHIMISTES DE SUCRERIE DU 7 FÉVRIER 1891.)

On discute beaucoup en Allemagne et en Autriche sur la valeur relative des caisses verticales et des caisses horizontales dans la construction des appareils d'évaporation.

Sans vouloir déprécier les uns aux dépens des autres, nous dirons de suite, qu'à notre avis, les uns valent les autres, et cela en nous appuyant aussi bien sur la théorie que sur la pratique.

En pratique nous n'avons, en effet, jamais trouvé de différence dans le pouvoir évaporatoire des caisses verticales et horizontales, et si les dernières nous ont paru un instant à nous-même évaporer plus que les

caisses verticales, cela tient à des circonstances spéciales ayant trait à l'histoire même de l'introduction du quadruple-effet en sucrerie.

En effet ce fut en Autriche, et plus tard en Russie, que l'on construisit les premiers quadruple-effet et quintuple-effet ayant fonctionné réellement comme tels, et cela d'après les indications et les conseils de Rillieux.

Or le premier appareil sur lequel aient été faites des constatations d'évaporation, celui d'Ouval, était formé d'une première caisse et d'une seconde caisse horizontales, le troisième et le quatrième corps étant constitués par des caisses verticales. On constata sur ce quadruple-effet que le premier et le deuxième corps avaient un pouvoir évaporatoire plus grand que le troisième et le quatrième.

Les constructeurs, et nous-même, en conclurent que les appareils horizontaux évaporaient plus que les appareils verticaux, quoique, par une anomalie que nous ne nous expliquions pas, nous eussions remarqué que le second corps évaporait un peu moins que le premier, étant horizontal et de même construction.

On sait que, pour calculer le pouvoir évaporatoire des différents corps d'un appareil, on divise la quantité d'eau évaporée dans ce corps pendant l'unité de temps, par la surface de chauffe et par la différence de température ou chute de chaleur qui fait bouillir le liquide. Comme dans l'appareil d'Ouval les chutes de chaleur étaient beaucoup plus petites dans le premier et le deuxième corps que dans les autres pour la même évaporation par mètre carré, on en concluait que dans ces corps l'évaporation était plus active que dans les autres.

L'année suivante la maison Breitfeld-Danek de Prague, construisit à l'usine de Wchetul un quadruple-effet dont les quatre caisses étaient horizontales, et nous ne fûmes pas peu surpris de voir que les chutes de température étaient, comme à Ouval, plus faibles dans le premier et le deuxième corps que dans le second et le troisième.

Plus tard j'eus l'occasion en Russie de faire fonctionner un quadruple-effet dont le premier et le deuxième corps étaient verticaux, le troisième et le quatrième horizontaux, à l'usine de Skomorochky. Mêmes différences qu'à Ouval et Wchetul, les premiers corps, quoiqu'ils fussent verticaux, évaporaient davantage que les troisièmes et quatrièmes qui étaient horizontaux.

Enfin en Allemagne, et depuis en France et en Belgique, je fis la même remarque sur un grand nombre d'appareils à quadruple-effet dont les caisses étaient tantôt entièrement verticales, et tantôt horizontales, et toujours, quelle que soit la forme des caisses, la première évaporait plus que la seconde (par mètre carré, par unité de temps et par

degré de chute), la deuxième plus que la troisième, et celle-ci plus que la quatrième, et dans des rapports à peu près constants.

C'est à la suite de ces observations et de longues recherches que j'émis ma théorie de la condensation (p. 531) qui établissait que la vapeur se condense d'autant plus vite que son volume spécifique est plus petit, ce qui explique tous les phénomènes, quels qu'ils soient. D'ailleurs j'insiste sur ce fait que cette théorie a été vérifiée sur des appareils évaporant de l'eau pure, afin d'écartier l'objection de la densité des liquides.

Il découlait donc de là que les caisses verticales évaporent tout autant que les caisses horizontales, qu'il n'y a pas de différence dans leur travail, car, à surfaces égales, deux appareils, l'un horizontal et l'autre vertical, produisent exactement le même travail lorsqu'ils sont bien construits tous deux, et lorsque les caisses sont les unes horizontales les autres verticales, dans quelque ordre qu'elles se trouvent, les chutes de température entre chacune d'elles dans les mêmes conditions de travail sont les mêmes.

Restait donc à prouver théoriquement que les caisses verticales ne le cèdent en rien aux caisses horizontales.

On ne se rend généralement pas compte de ce qui se passe dans une caisse tubulaire verticale pendant l'évaporation. On remarque sur la plaque tubulaire supérieure un remous intense. On s'aperçoit aussi que, quand une caisse est en pleine ébullition, si l'on arrête subitement la vapeur, le niveau du jus descend de suite très bas, parfois même au-dessous du niveau de la plaque tubulaire supérieure, mais on ne va pas plus loin, parce que l'appareil n'étant pas en verre on ne voit pas ce qui se passe dedans. Nous allons chercher à nous en rendre compte.

Supposons pour cela un appareil à triple-effet en grande marche, évaporant 10 hectolitres de jus par mètre carré de surface de chauffe totale, toutes les caisses bouillant bien par conséquent. Voyons ce qui va se passer dans la seconde caisse, par exemple, qui nous donnera une sorte de moyenne de travail des autres. Supposons que les tubes aient 1^m,200 de longueur, 0^m,050 de diamètre intérieur, formant un volume intérieur de 2 litres 3568 avec une surface intérieure du tube de 18,852 décimètres carrés. Le vide dans cette caisse est en moyenne 360 millimètres, et, à 10 hectolitres par mètre carré, l'évaporation est par seconde sur la surface du tube de 0 kil. 0015 d'eau.

Le volume de 1 kil. de vapeur étant d'environ 2.400 litres dans le vide où nous opérons, nous produisons donc dans chaque tube et par seconde $0,0015 \times 2.400 = 3,60$ litres de vapeur, en supposant que le tube vaporise sur toute sa hauteur.

Or le volume intérieur du tube étant de 2,3568 litres il se produit donc par seconde un volume de vapeur plus grand que la capacité même du tube, ce qui tend à le vider continuellement en chassant le jus qu'il pourrait contenir.

Il semble donc à première vue que les tubes doivent être vides de jus, puisqu'il s'y forme plus de vapeur que leur capacité même. Comment cela se passe-t-il donc en réalité ?

L'expérience de chaque jour dans les laboratoires va nous donner de précieux enseignements sur ce point.

En effet lorsque dans un tube en verre étroit bouché par un bout on chauffe un liquide sur le bec de gaz, que se passe-t-il ? Le tube étant chauffé sur le côté et non sur le fond, comme cela se fait toujours *pour éviter les projections*, au moment où commence l'ébullition on voit les bulles de vapeur se détacher des parois et monter à la surface en soulevant fortement le liquide, et, si l'on n'y prend garde, quoiqu'il y ait très peu de liquide dans le tube, lorsque l'ébullition devient tumultueuse, le tube s'emplit jusqu'au bord et parfois le liquide est projeté violemment dehors par la vapeur occupant momentanément toute la capacité.

La même chose se passe dans les tubes des appareils, et c'est facile à observer, surtout quand le jus ne couvre pas la plaque tubulaire supérieure comme cela arrive généralement. Au moment où l'ébullition commence, le liquide monte d'abord au-dessus de la plaque tubulaire ; puis, bientôt on voit jaillir de chaque tube des projections de liquide d'autant plus élevées que l'ébullition est plus vive. Si l'appareil a un gros tube central tout le liquide projeté se précipite dans ce tube central et de tous les autres tubes jaillit le jus en faisant un remous intense dans la caisse, depuis le pourtour jusqu'au tube central.

Donc le jus revient sans cesse du bas en haut dans chaque élément tubulaire et en est rejeté par l'ébullition, mouillant les parois sur son parcours d'une quantité de liquide suffisante pour provoquer la formation des vapeurs.

Si l'on se reporte encore au chauffage dans le tube de verre, on voit que les bulles de vapeur, au moment où elles soulèvent le liquide, font avec ce liquide une succession de couches, vapeur et liquide alternativement, ce dernier formant comme un bouchon qui est projeté par la vapeur qui fait pression dessous. De même dans les tubes des appareils les projections sont alternatives et non continues, et l'on peut remarquer dans ces conditions combien va vite l'évaporation.

Tel est donc le mécanisme du mouvement du jus dans les parties tubulaires d'une caisse verticale.

Quel est maintenant le rapport réel qui existe entre la quantité de jus et la quantité de vapeur qui remplissent les tubes ? Le jus contenu dans le tube central tend à monter dans les petits tubes avec une vitesse égale à

$$v = K \sqrt{2gh}$$

K étant le coefficient de frottement, et h la hauteur du jus dans le tube central, en supposant les petits tubes complètement vides. S'il y a déjà du jus dans les petits tubes sur une hauteur h' ,

$$v = K \sqrt{2g(h-h')}$$

Nous supposons ici la plaque tubulaire découverte. Donc le temps nécessaire pour que le tube soit entièrement plein est égal à :

$$t = \frac{h}{K \sqrt{2g(h-h')}}}$$

D'autre part la quantité de vapeur formée dans le même temps sur toute la surface du tube est 3 litres 60 ou $0,0015 \times V$, en appelant V le volume de l'unité de vapeur, multiplié par t . Mais comme nous avons vu qu'il y a toujours une certaine quantité de jus faisant bouchon au-dessus de la vapeur, si nous supposons $h'' < h'$ cette hauteur de jus, en appelant f la force élastique de la vapeur, son volume devra être multiplié par

$$\frac{f}{f+h''}$$

et le volume de la vapeur formée devient :

$$0,0015 \times V \times \frac{f}{f+h''} \times \frac{h}{K \sqrt{2g(h-h')}}}$$

Cette quantité de vapeur divisée par la section du tube $\frac{\pi D^2}{4}$ donne la hauteur de vapeur dans le tube, hauteur qui est elle-même égale à $(h-h')$.

Donc on a, toutes corrections faites, en supposant la densité du liquide égale à d , car nous avons raisonné jusqu'ici comme si le liquide était de l'eau,

$$\sqrt[3]{\frac{0,0015 \times V \times \frac{f}{f+h''} \times \frac{h}{K \sqrt{2gd}}}{\frac{\pi D^2}{4}}}^2 = (h-h')}$$

Telle est la formule qui donne la hauteur h' du liquide dans les tubes, lorsque la plaque tubulaire supérieure est découverte.

Le coefficient K aurait besoin d'être déterminé pour les différentes densités de solutions sucrées, étant d'autant plus petit que le sirop est plus dense. Pour l'eau $K = 0,6$. Si nous prenons ce même coefficient pour le jus faible, nous voyons, en appliquant la formule à la deuxième caisse que

$$h' = 0,35$$

Par conséquent les deux tiers du tube sont occupés par la vapeur, et un tiers seulement soit exactement $1,20 \times 0,35 = 0,42$ centimètres, sont occupés par le jus, sectionné en fractions que séparent des bulles de vapeur. Nous avons supposé dans le calcul $h'' = h'$, ce qui n'est pas exact puisque si l'on faisait la sommation des termes d'une série dans laquelle le volume de vapeur croîtrait du bas en haut du tube, on trouverait pour h'' une valeur bien inférieure à h' . Donc ce chiffre 0,35 est un maximum.

Si dans la même formule nous faisons $d = 1,23$, densité du sirop de la troisième caisse, on trouve pour h' une valeur de 0,41. Mais dans ce cas le coefficient K , au lieu de 0,6 devrait être plus petit encore, et il suffirait qu'il fut égal à 0,54 pour que h' ait encore la valeur 0,35. Ce faible écart entre 0,60 et 0,54 n'est pas réel. Le coefficient de frottement du sirop est beaucoup plus différent que cela de celui de l'eau. De plus, dans la troisième caisse, le volume V de la vapeur au lieu d'être 2.400 est au moins de 6.000, et l'on trouve alors que les tubes sont entièrement vides de sirop, quand bien même l'évaporation serait réduite au travail des appareils à marche lente, soit 6 à 7 hectolitres d'évaporation par mètre carré.

Nous verrons plus loin quelle conclusion à tirer de là.

Passons maintenant au cas général où il y a une couche de liquide h'' au-dessus de la plaque tubulaire.

Dans ce cas, la hauteur de liquide agissant dans le tuyau central est $(h + h''')$, la hauteur de jus à soulever par la vapeur est $(h'' + h''')$ et la hauteur de liquide réelle agissant sur chaque tube est $(h' + h''')$. Substituant ces valeurs à h, h', h'' on trouve, toutes réductions faites :

$$\sqrt[3]{\left(\frac{0,0015 \times V \times \frac{f}{f + (h'' + h''')} d \times \frac{h}{K \sqrt{2gd}}}{\frac{\pi D^2}{4}}\right)^2} = (h - h')$$

On voit que la hauteur de jus placée au-dessus de la plaque tubulaire

influe sur le volume de la vapeur contenue dans le tube par le seul fait de la compression que cette hauteur de jus exerce sur la vapeur.

Si nous supposons $h''' = 0^m,200$, hauteur ordinaire du jus au-dessus des plaques tubulaires, on trouve en appliquant la formule avec le coefficient $K = 0,6$, et $d = 1$:

$$h' = 0,375$$

au lieu de $0,35$ trouvé précédemment, et avec $d = 1,23$

$$h' = 0,390$$

On voit qu'en marche normale il y a très peu de différence dans le volume théorique de la vapeur lorsque la hauteur du jus sur la plaque est faible, d'autant plus qu'il faut tenir compte du mouvement continu du liquide et de la vapeur qui change un peu ces conditions et favorise l'échappement de la vapeur.

Nous avons en tout cas ici $h' + h'' = 0,575$.

Supposons maintenant une marche défectueuse, soit 80 centimètres de jus au-dessus de la plaque $h'' = 0,80$.

$$\begin{array}{ll} \text{On trouve pour } h = 1 & h' = 0,375 \\ & h = 1,23 \quad h' = 0,420 \end{array}$$

Soit $h' + h'' = 1^m,175$ et $1^m,220$. Cas tout à fait défavorable.

En effet si l'on compare le volume spécifique V de la vapeur aux différentes phases de ce travail, on trouve que, de 2.400, V se réduit à 2.044 quand il y a 80 centimètres de liquide sur les tubes, et la température de la vapeur sous ce volume monte de 90 à 94°. On perd donc 4° dans la chute de température qui fait bouillir le liquide, et comme cette chute est de $102 - 90 = 12^\circ$ par exemple, dans le second corps elle tombe à 7°,5, d'où une diminution $\frac{4,5}{12}$ ou 37,5 % dans le pouvoir évaporatoire de la caisse.

On voit donc quel immense intérêt il y a à n'avoir qu'une faible hauteur de jus au-dessus de la plaque tubulaire. Ces chiffres se passent de commentaires. Nous dirons seulement que, aussitôt qu'une caisse s'emplit comme nous venons de le supposer, le régime entier de l'appareil change puisque la caisse en question ne peut plus évaporer autant que les autres. Par conséquent les chiffres ci-dessus ne sont vrais qu'en cas d'une modification brusque du travail qui arrêterait immédiatement l'évaporation si elle se produisait, et devraient être modifiés pour un travail régulier de l'appareil marchant soit avec peu de jus, soit avec beaucoup de jus sur les plaques.

Néanmoins, il est facile de remarquer combien l'ébullition est lourde

lorsqu'il y a beaucoup de jus sur les plaques, tandis qu'elle devient éminemment active quand la plaque tubulaire est découverte. D'où il ressort que l'appareil capable de faire le plus de travail avec le moins de surface serait celui dans lequel on pourrait injecter le jus sur des surfaces chauffantes découvertes.

Des essais ont été tentés souvent dans ce sens, mais on n'est arrivé jusqu'ici qu'à faire des appareils volumineux pour une surface de chauffe restreinte. Tel est l'appareil Chenailier.

L'appareil Lillie et l'appareil Yaryan se rapprochent plus de la théorie, mais il leur manque certains côtés pratiques pour la sucrerie.

Quant aux appareils horizontaux, certains ont une hauteur de jus très faible, soit 50 centimètres environ. Mais les tubes sont échelonnés sur toute cette hauteur, en sorte que ceux du bas ont réellement 50 centimètres de jus au-dessus d'eux, tandis que ceux du haut n'en ont que 5 à 10 centimètres. En sorte que les tubes du haut sont dans des conditions excellentes d'évaporation tandis que, 35 centimètres au-dessous du niveau du liquide, les tubes inférieurs sont dans des conditions de moins en moins favorables à l'évaporation, et moindres en tout cas que celles où se trouvent les tubes des appareils verticaux.

Mais il faut remarquer que dans les appareils verticaux dont les tubes ont 1^m,20, si nous avons 40 ou 50 centimètres couverts par le jus, il en reste 70 à 80 centimètres qui sont dans des conditions tout à fait parfaites d'évaporation, tandis que dans les appareils horizontaux les deux ou trois premières rangées de tubes partagent seules ces avantages.

Aussi lorsqu'on regarde bouillir les appareils horizontaux, on voit que la surface bout admirablement, tandis que le fond est pour ainsi dire sans mouvement. Les tubes du bas semblent n'être que les réchauffeurs destinés à préparer l'ébullition des tubes supérieurs comme le fait remarquer Greiner. Il en résulte que les allemands ont imaginé un nouveau terme dans la définition de leurs appareils. Ils appellent en effet *surface de chauffe* la surface totale des tubes, et *surface d'évaporation* la surface du liquide bouillant. Aussi cherchent-ils dans leurs appareils à donner un grand développement à la surface dite d'évaporation, diminuant autant que possible le nombre des tubes inférieurs. En cela les appareils cylindriques de la maison Breifeld-Danek de Prague semblent les mieux agencés sous ce rapport.

Mais cette distinction n'est pas logique. Le jus bout selon nous tout aussi bien en bas qu'à la surface dans les caisses horizontales, seulement les bulles de vapeur formées ont un volume moindre $v \left(\frac{f}{f+h} \right)$

quand h' est grand et ce volume augmente en arrivant à la surface quand h' devient nul. D'ailleurs le jus à partir du second corps arrive toujours dans les caisses à une température supérieure à celle à laquelle il va bouillir, par conséquent les tubes inférieurs ne réchauffent rien, ils évaporent, mais d'une façon moins efficace que les tubes supérieurs.

On a fait remarquer aussi que les tubes horizontaux perdraient une partie de leur efficacité à cause de la couche d'eau condensée qui coule à la partie inférieure pour s'évacuer dans les boîtes à vapeur aux extrémités, et les incrustations en effet sont bien plus épaisses à la partie supérieure externe des tubes qu'à la partie inférieure où elles sont parfois nulles, ce qui prouve une plus grande activité dans l'évaporation à la partie supérieure.

Il est donc extrêmement difficile de se rendre compte exactement de la qualité évaporatoire comparée des appareils verticaux et horizontaux, et la pratique nous ayant démontré que leur travail était le même dans les deux cas, nous devons nous en tenir là provisoirement.

Nous voulions seulement montrer dans ce travail comment il se fait que les appareils verticaux qui semblent à première vue dans de moins bonnes conditions que les appareils horizontaux pour l'évaporation à cause de la grande hauteur des tubes, travaillent aussi bien que les appareils horizontaux à faible épaisseur de liquide. La raison en est que, contrairement à ce qu'avancent les défenseurs des appareils horizontaux, les tubes verticaux contiennent très peu de liquide pendant l'évaporation, et que la surface chauffante s'y trouve dans des conditions au moins aussi favorables que dans les appareils horizontaux.

Tous deux ont des défauts, car on n'est pas encore arrivé à construire l'appareil type correspondant à la théorie du chauffage par surface, mais l'un vaut l'autre, et les fabricants peuvent choisir indifféremment dans les deux types celui qui conviendra le mieux à leur installation, aussi bien comme premier que comme dernier corps de leur appareil d'évaporation.

Il y a encore un point à étudier dans la comparaison entre les appareils verticaux et horizontaux.

Si l'on examine ce qui se passe lorsqu'une bulle d'air traverse une couche d'eau, on voit cette bulle, sphérique au départ, s'aplatir ensuite comme une lentille, et s'élever doucement, oscillant de droite et de gauche, godillant pour ainsi dire dans l'eau d'un mouvement isochronique pour monter jusqu'à la surface, non en ligne droite, mais en suivant un chemin sinueux.

Si une bulle gazeuse, une bulle de vapeur par exemple dans l'eau

bouillante, de volume V se détache de la paroi où elle se forme et s'élève jusqu'à la surface d'un liquide de hauteur h , sa force ascensionnelle est $V(d-d')$. Ici d' est très petit par rapport à d , la force ascensionnelle est sensiblement Vd , et si l'on admet pour simplifier encore que d est l'unité, cette force est égale à V . On verra plus loin que ces approximations suffisent amplement au raisonnement pour les conclusions que nous allons en tirer.

La bulle est sollicitée à monter du fond à la surface avec une vitesse

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Supposons la bulle sphérique au départ, ayant un rayon R .

$$\text{On a : } \quad V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad \text{et son cercle } S = \pi R^2.$$

La résistance que la sphère éprouverait de la part du liquide pour monter à la surface est fonction de S . Mais comme la sphère s'aplatit et prend la forme lenticulaire, nous ne nous tromperons pas de beaucoup en prenant S comme surface effective de l'effort de résistance, quitte à faire ultérieurement un calcul plus rigoureux qui nous entraînerait ici beaucoup trop loin.

En se déplaçant, la bulle gazeuse est obligée de fendre le liquide. Si nous adoptons la méthode de Newton pour calculer la résistance qui en résulte, nous dirons :

Le volume d'eau déplacé en une seconde est :

$$S v = S \sqrt{2gh}.$$

La *masse* mécanique de cette eau est : $M = \frac{S v}{g}$.

D'où, la résistance donnée par le liquide égalant le produit de la masse par la vitesse, on a :

$$M v = \frac{S v}{g} v = \frac{S v^2}{g} = 2 S h = 2 \pi R^2 h.$$

Donc si la force ascensionnelle V ou $\frac{4}{3} \pi R^3$ est égale à la résistance $2 \pi R^2 h$, la bulle reste en place ; elle ne peut s'élever.

Soit donc le moment d'inertie $\frac{4}{3} \pi R^3 = 2 \pi R^2 h$

$$\text{ou } \quad R = \frac{3}{2} h \quad \text{ou } h = \frac{2}{3} R.$$

Donc si la hauteur du liquide qui se trouve au-dessus d'une bulle

gazeuse sphérique est égale aux deux tiers du rayon de cette sphère ou au tiers du diamètre, la bulle reste en place.

Or comme la bulle de vapeur est poussée sans cesse par une autre qui se forme au-dessous pendant l'ébullition, elle se détache de la paroi, s'aplatit sous l'influence combinée de la force ascensionnelle et de la résistance de l'eau, et c'est à ce moment que, en équilibre instable, elle s'incline à droite ou à gauche pour chercher son chemin à travers l'obstacle.

Dans ce cas, la résistance de l'eau devient

$$S \sin^2 i \frac{v^2}{g}.$$

La bulle reste en place pour $\frac{2}{3} R = h \sin^2 i$,

d'où

$$h = \frac{2 R}{3 \sin^2 i}.$$

Il suffit donc de la moindre inclinaison, de la moindre augmentation de $\sin i$ pour que l'équilibre soit rompu. Ainsi, dans une expérience que j'ai faite, j'avais $h = 200$ millimètres, et R sensiblement 2 millimètres, pour une bulle d'air dégagée au bout d'un tube dans de l'eau. La bulle mettait environ 2 secondes pour gagner la surface : d'où $v = 0,1$, tandis que $\sqrt{2gh} = 1,9668$. La vitesse ascensionnelle réelle était donc à peu près vingt fois moindre que ne l'indique la formule mécanique. Et si l'on recherche la valeur de i pour rompre l'équilibre on trouve, d'après la formule précédente :

$$i = 4^\circ 35' 35''$$

C'est donc sous un angle très faible que se produit le balancement suffisant pour permettre à la bulle de monter, balancement qui cause l'isochronisme du mouvement ascensionnel en le régularisant.

Car si l'on remarque que $v^2 = 2gh$ est la formule d'une parabole sollicitant une plus grande vitesse au départ qu'à l'arrivée à la surface, que de plus V est proportionnel à h , puisque le volume de la bulle augmente au fur et à mesure qu'elle s'élève, ces deux éléments du calcul étant de signes contraires expliquent le mouvement ascensionnel à peu près régulier de la bulle que le balancement régularise encore davantage.

Quelle conclusion peut-on tirer de là au point de vue des appareils.

C'est qu'aussitôt qu'une bulle de vapeur est formée, si elle rencontre une épaisseur d'eau au-dessus d'elle, si petite qu'elle soit, mais plus grande que les deux tiers de son rayon, elle ne peut s'échapper libre-

ment. Elle éprouve à se détacher de la surface de chauffe un retard considérable, aussi bien qu'à gagner la surface du liquide.

Donc, dans tous les appareils, horizontaux ou autres, dont l'épaisseur de liquide est très grande par rapport à celle de la couche de vapeur qui se forme pendant l'ébullition, celle-ci éprouve une résistance immédiate à se produire qui diminue le rendement évaporatoire dans une grande proportion.

Donc aussi, l'appareil à ruissellement, dans lequel la couche liquide est fort mince et comparable à $\frac{2}{3} R$, est infiniment supérieur à tous les autres.

De plus l'épaisseur du liquide agit dans le rendement des appareils non pas pour sa valeur, mais pour la racine carrée de sa valeur, ce qui diminue dans une large mesure l'influence que l'on attribue généralement à cette épaisseur, puisque la vitesse avec laquelle la bulle monterait avec cette résistance est $\sqrt{2gh}$.

Donc le rapport de la vitesse ascensionnelle de la bulle de vapeur à la hauteur du liquide qui l'entrave est fonction de la racine carrée de cette hauteur.

De tout cela résulte que ce n'est pas tant sur l'épaisseur de la couche liquide que sur la facilité de dégagement de la vapeur formée qu'il faut porter l'attention dans la construction des chaudières évaporatoires. C'est ce qui explique pourquoi les chaudières verticales qui travaillent d'une manière mixte entre les appareils horizontaux et les appareils à ruissellement, ont le même rendement que les chaudières dites à faible épaisseur de liquide, cette faible épaisseur étant encore infiniment trop grande pour entrer en ligne de compte dans les rendements. C'est pourquoi aussi, dans les appareils de toutes formes et de toutes dimensions qui m'ont passé par les mains, horizontaux, de toutes constructions, Jelinek, Sémirenko ou autres, verticaux, à tubes de 60 centimètres ou de 1^m,50 et 2 mètres, je n'ai jamais découvert de différence dans la production effective de la vapeur.

§ 11. — Appareils à ruissellement.

Nous venons de parler des appareils à ruissellement avant de définir leur nature.

Le mot *ruissellement* n'est pas tout à fait le terme propre qu'il faudrait employer. Il faudrait dire plutôt : appareils évaporant les liquides en *mince épaisseur*. Comme on arrive effectivement à ce résultat en faisant ruisseler le liquide sur la surface de chauffe, tous ces appareils ont reçu

le nom générique d'*appareils à ruissellement*, et c'est ainsi que nous les désignerons par la suite.

L'évaporation des liquides en mince épaisseur est beaucoup plus rapide qu'en couches épaisses pour les raisons que nous venons d'expliquer, et qui consistent en ce que la résistance qu'éprouve la vapeur à traverser une certaine épaisseur de liquide est considérable. Si donc on supprime la couche liquide qui entrave l'échappement de la vapeur de la paroi aussitôt que la bulle est formée, on active de ce seul fait l'évaporation.

Nous avons expliqué aussi précédemment comment le renouvellement rapide du liquide sur la surface chauffante accélère l'évaporation. Le ruissellement donnant ce résultat, c'est une seconde cause pour laquelle les appareils qui profitent de cette propriété évaporent davantage.

Mais le renouvellement rapide des couches liquides en mince épaisseur peut être obtenu autrement que par ruissellement proprement dit, l'échappement de la vapeur dans un espace restreint où afflue sans cesse le jus à évaporer produisant le même résultat, dans des conditions parfois meilleures.

Nous pourrions donc classer les appareils à ruissellement en deux catégories, l'une où le liquide se renouvelle mécaniquement, c'est le ruissellement proprement dit, l'autre où le liquide est entraîné par l'action de la vapeur formée sur la surface chauffante, tel que dans le Yaryan et les appareils tubulaires à petite section.

Les appareils à ruissellement proprement dit datent de loin. Le cône de Lambeck, l'appareil Degrand, concentraient les jus sucrés en couche mince, mais à l'air libre.

Le premier appareil dans le vide, basé sur ce système, qui ait fait quelque bruit est celui de Lillie (fig. 129).

L'appareil Lillie se composait de caisses tubulaires verticales analogues à celles de nos triple-effets. Le jus était reçu au-dessus de la plaque tubulaire sur un système distributeur qui le déversait en pluie, pour ainsi dire, sur la plaque tubulaire elle-même, en sorte qu'il ne traversait les tubes qu'en faible quantité, variable d'ailleurs, et tombaient dans le fond de la caisse en ruisselant dans les tubes. Une pompe les remontait continuellement sur le distributeur. Les appareils plus récents dérivent tous de ce type, le distributeur seul a varié.

En général on a cherché à surmonter chaque tube d'un distributeur spécial, espèce de bouchon percé d'un trou central pour échapper la vapeur, et de trous latéraux plus ou moins hélicoïdaux pour forcer le jus à circuler en égale épaisseur dans tous les tubes. Les systèmes varient à l'infini.

Le plus rationnel de tous est dû à un ingénieur de talent, Dulac, dont nous avons déjà parlé ailleurs, qui l'a appliqué aux condenseurs de machine à vapeur depuis plusieurs années, bien avant que l'on songe au ruissellement en sucrerie.

C'est un bouchon métallique placé sur chaque tube, avec cheminée centrale. Les ouvertures latérales se continuent par des conduits héli-

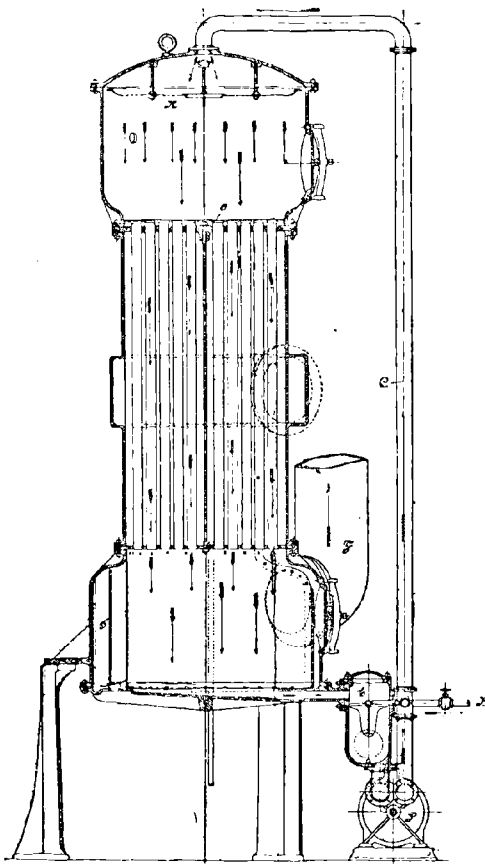


Fig. 129

coïdaux calculés mathématiquement pour laisser écouler le liquide avec un mouvement giratoire tel que toute la surface intérieure des tubes se trouve également mouillée.

Mais Dulac avait observé que la vapeur est capricieuse dans sa condensation, et que dans un appareil tubulaire tous les tubes ne reçoivent pas toujours la même quantité de calories dans le même temps. Il

en résulte que pour avoir un appareil marchant d'une façon rationnelle, il faut que le liquide soit distribué dans les tubes dans le même rapport que le nombre de calories qui le traverse.

Utilisant la dilatation linéaire des tubes qui est justement proportionnelle à ce nombre de calories qui les traverse, Dulac a fait de cette dilatation le régulateur même de distribution des liquides.

A cet effet les tubes sont fixés sur la plaque tubulaire inférieure et mobiles dans des presse-étoupes ménagés sur la plaque supérieure. Lorsqu'un grand nombre de calories traverse un tube, il s'allonge, soulève son distributeur et augmente l'admission du liquide. Si, au contraire, le tube travaille mal, il diminue de longueur, et ferme son admission.

Dulac forme ainsi un appareil tout à fait pratique qui est le type du ruissellement rationnel.

Les autres inventeurs ont appliqué leurs dispositifs sur les tubes mêmes des caisses existantes, aussi leur effet utile est-il amoindri. De plus Dulac préconise l'emploi des tubes de deux mètres de longueur au moins pour que le jus arrive concentré en bas. Les autres sont obligés d'employer la pompe remontante de Lillie, les tubes ordinaires n'ayant guère que 1^m,10 à 1^m,50 maximum.

Les appareils à ruissellement du second groupe partent de l'invention de Yaryan, qui est le véritable promoteur du ruissellement en sucrerie, à cause de la réclame qu'il fit autour de son système.

L'appareil Yaryan est à caisse horizontale avec circulation de vapeur autour des tubes comme dans une caisse verticale. Le jus est injecté dans chaque tube (fig. 130).

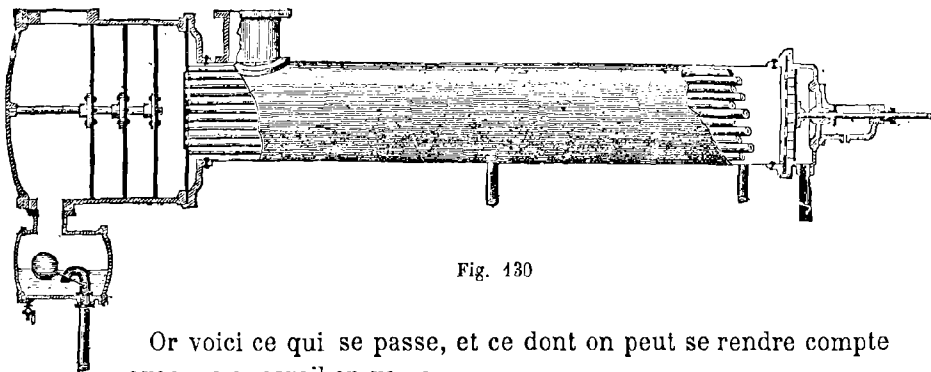


Fig. 130

Or voici ce qui se passe, et ce dont on peut se rendre compte avec un appareil en verre.

Dans le tube il se forme de la vapeur qui occupe un certain volume. Cette vapeur se trouve retenue prisonnière par une certaine quantité de jus qui se trouve en avant ou en arrière de la bulle formée. A cause de l'injection continue la bulle circule, entraînant avec elle le jus qui forme

bouchon et l'empêche de s'échapper. Ces bouchons de jus lèchent les parois chauffés et se transforment eux-mêmes en vapeur, et les bulles augmentent sans cesse jusqu'à ce qu'elles arrivent au bout du tube.

De la sorte la paroi chauffante est toujours mouillée et ce mouillage est d'autant plus rapide que l'évaporation est plus active. C'est la vapeur formée qui règle elle-même la quantité de jus qui doit mouiller les parois chauffantes, et comme le renouvellement du liquide qui se trouve ici en très mince épaisseur est très rapide, le pouvoir évaporatoire est considérable. Il n'est diminué que de l'épaisseur des masses liquides qui circulent dans les tubes.

L'appareil Yaryan n'a pas d'imitateurs. Mais les *nouvelles* méthodes préconisées pour conduire l'évaporation dans les appareils verticaux produisent un résultat analogue.

Pour terminer la description de l'appareil Yaryan dont nous donnons ici la figure, disons que le jus injecté par l'extrémité de droite à travers de petits trous facilement débouchables en marche par une manette extérieure, sort à l'autre extrémité du tube mélangé à la vapeur. Il rencontre alors une série de chicanes faisant vase de sûreté, où liquide et vapeur se séparent. Le liquide tombe dans une boîte à flotteur et est repris par le corps suivant. Une pompe à sirop l'extrait du dernier corps.

Le jus ne fait que passer dans les tubes et est évaporé très rapidement en quelques minutes. On peut dire que l'appareil ne contient pour ainsi dire rien, en sorte que s'il y a arrêt on peut le vider complètement. C'est une très bonne chose car le sirop ne s'y altère pas comme dans les appareils qui en contiennent de grandes masses.

J'avais remarqué depuis longtemps l'énorme pouvoir évaporatoire des appareils au moment où ils manquent de jus, lorsque le niveau du liquide est descendu au-dessous de la plaque tubulaire supérieure. J'ai donné précédemment l'explication de ce qui se passe alors ; les tubes surtout dans la dernière caisse, sont tout à fait vides de jus. Ils travaillent alors *exactement* comme les tubes de l'appareil Yaryan. C'est du ruissellement du second ordre de bas en haut, au lieu d'être horizontal.

D'autres que moi on fait la même observation, et ont posé en principe qu'on ne devait laisser dans les tubes qu'une hauteur de jus égale au tiers de celle des tubes, pour avoir un bon rendement.

Or, d'après le travail précédent il résulte que, dans le premier corps d'un triple-effet en marche, les tubes sont pleins de jus aux deux tiers l'autre tiers étant occupé par la vapeur. Dans le second corps il n'y a qu'un tiers de la hauteur occupé par le jus. Dans le troisième les tubes sont entièrement remplis de vapeur.

Donc quand on dit qu'il ne faut remplir les tubes que de 1/3 de la

hauteur en jus, on n'améliore que la marche du premier corps et l'on ne fait rien ni au second ni au troisième. Il est donc évident que dans ce cas le ruissellement par en haut doit donner de meilleurs résultats que cette méthode mixte qui est cependant supérieure à l'antique système d'emplir de jus les caisses jusqu'au milieu de la première lunette.

Au congrès de Lille de 1894 j'ai cité un appareil bien simple dû à M. Canard qui donne d'excellents résultats comme augmentation du pouvoir évaporatoire des appareils verticaux. C'est un simple bâton que l'on introduit dans chacun des tubes des caisses. Quel est l'effet de ces bâtons ? C'est de diminuer le volume de jus existant dans les tubes, sans en changer la surface de chauffe.

Dès lors, si les bâtons occupent les deux tiers du volume des tubes du premier corps et le tiers du volume des tubes du second corps, il est évident que ces tubes fonctionnent comme ceux du troisième corps, sans jus dans leur intérieur et que le ruissellement s'y établira dans les meilleures conditions possibles. Un tel dispositif doit donc donner les mêmes résultats que le Yaryan.

Or tous les essais faits sur le Yaryan et sur les autres appareils ont augmenté de *trente pour cent* le pouvoir évaporatoire des triple-effets. Essayons d'en rechercher la cause.

Nous avons vu précédemment que lorsqu'une bulle de vapeur se forme,

elle se détache aussitôt que l'on a : $\frac{D}{3} > h$.

Comme ce détachement se fait pour une valeur de $(\sin^2 i)$ très petite, comme les parois inclinées des chaudières favorisant considérablement les mouvements des bulles, notre raisonnement ne s'appliquera donc qu'à des surfaces horizontales. Cependant quand on regarde bouillir de l'eau dans un ballon de verre, on voit les bulles se détacher avec force des parois inclinées et s'élancer dans la masse d'eau presque normalement à la paroi ; par conséquent, même dans le cas des parois inclinées, notre théorie peut trouver en partie son application.

Quelle est la limite supérieure de D , c'est-à-dire du diamètre de la bulle gazeuse ?

Si l'on tire la valeur de $D = 3h$, il semblerait que D croisse indéfiniment avec h . Mais il n'en est pas ainsi à cause des phénomènes de capillarité qui donnent la cohésion à la bulle gazeuse et l'attachent à la paroi. Quand le diamètre de la bulle est tel que l'action capillaire ne l'emporte plus sur la force ascensionnelle, la bulle s'élève ou se divise.

Donc D croît avec h jusqu'à une certaine limite après laquelle l'accroissement provoque le détachement de la bulle gazeuse.

L'ascension des liquides dans les tubes capillaires et la loi de Jurin

nous donnent approximativement la limite de grosseur de la bulle. Nous considérerons le liquide à la température d'ébullition de l'eau.

A 100° l'eau monte de 12,5 millimètres dans un tube de 1 millimètre de diamètre. On a donc dans un tube quelconque, en appelant H la hauteur d'ascension et D le diamètre du tube :

$$HD = 12,5$$

Pour avoir la limite de D il faut remarquer que la limite de H est celle de la hauteur naturelle du ménisque, soit 2 millimètres environ, alors on trouve pour D la valeur

$$D = 6,25$$

Donc dans ces conditions il n'y a plus ascension de liquide quand le diamètre des tubes dépasse un diamètre de 6,25 millimètres, diamètre qui va en augmentant lorsque la température du liquide diminue.

Or, nous pouvons comparer ce mouvement des bulles gazeuses à l'ascension du liquide dans les tubes capillaires, car la loi est la même, la bulle étant retenue à la paroi par les mêmes forces et dans les mêmes conditions. En effet, l'ascension dans les tubes capillaires ne se fait que grâce au liquide qui les mouille. Ici nous sommes en plein liquide; mais le phénomène est de signe contraire puisque c'est la bulle qui en se formant repousse le liquide ambiant et élargit sa base de contact, et il est égal puisque ce sont les mêmes forces qui agissent. Donc la valeur 6,25 trouvée pour les tubes peut s'appliquer également aux bulles gazeuses formées sur les parois.

Si donc la bulle de vapeur se détache pour un diamètre de 6,25 millimètres, si nous reprenons notre formule $h = \frac{D}{3}$, l'épaisseur de liquide sous laquelle le phénomène se passera comme nous venons de l'indiquer sera $h = \frac{6,25}{3} = 2,08$ millimètres.

Donc le ruissellement doit se faire à 100° sous une épaisseur de liquide sur les tubes inférieure à 2,08 millimètres, après quoi on perd le bénéfice de la petite valeur de h .

Nous avons fait remarquer que l'angle i sous lequel les bulles se détachent d'une surface plane lorsqu'elles oscillent, était de 4° 1/2 environ dans les conditions où nous nous sommes placés.

Comme les surfaces de chauffe sont toutes cylindriques les bulles formées sur les points inclinés de plus de 4° 1/2 se détachent plus facilement.

Or, sur un cylindre horizontal il n'y a que 5 % de la surface environ

qui réponde à une inclinaison moindre que $4^{\circ} 1/2$. Seulement toute la partie du haut est stagnante sous un angle de 54° environ par l'attraction moléculaire. Par conséquent l'application du ruissellement à une partie cylindrique doit donner une augmentation de travail au moins de 32 %, puisque le détachement lent de la bulle sur ces parties est remplacé par un départ pour ainsi dire instantané. C'est ce qui explique pourquoi le Yaryan et le nouveau Lillie font effectivement plus de travail, évalué à 30 %, dans la pratique.

Sur un tube vertical on remarque, en employant toujours un appareil en verre, que la bulle glisse le long de la paroi chauffante, de bas en haut, jusqu'à ce qu'elle s'en détache. Elle forme une demi-sphère d'abord qui grossit et tend à devenir sphérique jusqu'à ce que l'angle de contact avec la paroi permette à la pression de l'eau de faire équilibre à la pression capillaire. C'est le même angle que plus haut. Or le phénomène n'a lieu que sur la partie de la sphère touchant la paroi ; mais comme le cylindre vertical qui constitue le tube agit sur toute sa surface intérieure, le ruissellement a encore pour effet d'augmenter de 30 % l'effet utile de l'évaporation.

Par conséquent, que l'appareil d'évaporation soit vertical ou horizontal, la substitution du ruissellement au travail ordinaire donne une augmentation d'évaporation de 30 % au moins et même davantage, parce que dans le raisonnement nous ne tenons pas compte de toutes les données du problème, résistances, mouvements des liquides et des vapeurs, etc.

Le ruissellement est donc un progrès réel dans la méthode d'évaporation, qui permet avec une surface donnée de faire au moins 30 % de plus de travail qu'avec la méthode ordinaire.

§ 12. — Appareils à effets multiples dans le vide conjugués avec les chauffages à effets multiples.

Si l'on considère la marche d'un triple-effet ordinaire, on remarque que si 1 kilogramme de vapeur fourni à la première caisse évapore théoriquement 3 kilogrammes d'eau dans tout l'appareil, la dernière caisse abandonne au condenseur tout le calorique latent apporté par le kilogramme de vapeur primitif ; c'est une perte sèche de calories que l'on jette au ruisseau et qu'il serait très intéressant de récupérer.

Or cette quantité de calories perdues provient en grande partie de l'échappement des machines, mélangé à la vapeur directe ajoutée pour subvenir aux besoins de l'évaporation. Les vapeurs de retour évaporent donc pour ainsi dire gratuitement trois fois leur poids d'eau du jus, mais

il n'en est pas moins vrai que la totalité des calories dégagées par ces vapeurs est complètement perdue dans le condenseur.

Les quadruple-effets qui tendent à se généraliser en sucrerie sont en cela préférables aux triple-effets puisque la quantité de vapeur qu'ils envoient au condenseur est moindre ; mais cela ne suffit pas encore.

Se préoccupant de cette perte, on a cherché à utiliser une partie des vapeurs sortant du dernier corps en la faisant passer à travers un condenseur à surface chargé de réchauffer du jus ou de l'eau pour la diffusion. Mais, à bien considérer, il faudrait pour condenser toute cette vapeur un condenseur qui ait au moins quatre fois la surface d'une caisse de triple-effet, comme nous l'avons vu à propos du calcul des condenseurs à surface, et dans lequel on fasse circuler des quantités de liquide considérables. Or l'usine ne dispose pas de jus ou d'eau à chauffer en quantité suffisante pour arriver à faire cette condensation. Il faut donc chercher un autre moyen.

Les chauffages intermédiaires à effets multiples portent un remède très important à cet état de choses, et, combinés avec le condenseur à surface, ils donnent des résultats très remarquables au point de vue économique.

Nous allons donc étudier cette question des chauffages à effets multiples qui s'est répandue dans une très grande quantité d'usines, très rapidement à cause des profits qu'y ont trouvé les fabricants.

C'est Rillieux, l'inventeur des appareils d'évaporation à effets multiples dans le vide qui a imaginé aussi les chauffages à effets multiples.

Voici comment j'ai conté l'histoire de cette invention dans le *Journal de la Sucrerie indigène en 1890* :

« Le premier essai qui semble avoir été fait pour le chauffage des liquides à effets multiples date d'avant 1830. On retrouve dans le *Traité de la chaleur* de Pécelet, édition de 1843 (2^e volume, page 80), la description d'un système que Pelletan a appliqué à une chaudière à cuire. La vapeur provenant du sirop en ébullition se condense en partie dans une colonne barométrique, tandis que l'autre partie est aspirée par un injecteur de vapeur et réfoulée par lui dans le serpentín du bac à sirop pour réchauffer celui-ci avant son entrée dans la chaudière à cuire.

« Le chauffage du sirop, dans l'esprit de Pelletan, devait donc se faire au moyen de la vapeur du sirop aspirée et comprimée par l'injecteur, avec l'appoint de la vapeur de l'injecteur lui-même.

« Ce système ne réussit pas, et tous les efforts de Pelletan pour utiliser son injecteur ne le conduisirent malheureusement qu'à la ruine.

« Il est reconnu, en effet, que l'effet utile des injecteurs employés comme compresseurs de vapeur est minime, surtout si l'injecteur agit

sur une vapeur très détendue. Les pompes de compression sont seules utilisables dans ce cas.

« Pelletan avait cependant fait, le premier, usage des pompes de compression dans un autre appareil décrit dans le même volume (p. 93). Dans cet appareil il reprenait la vapeur formée par le sirop au moyen d'une pompe et la refoulait dans les serpentins de l'appareil pour faire bouillir le même sirop. Il est donc curieux de constater qu'il ait abandonné les pompes pour s'acharner ensuite dans l'emploi de ses injecteurs.

« Le but de Pelletan était donc d'utiliser la vapeur sortant d'un appareil à simple effet en lui fournissant par la compression un calorique tel qu'elle pût être utilisée de nouveau soit au chauffage des liquides, soit au chauffage de l'appareil lui-même. C'est la même idée qui a été reprise, cette fois avec plein succès, par Piccard, pour l'évaporation des eaux des salines.

« Les expériences de Pelletan n'ayant pas réussi, on se contenta d'utiliser la vapeur sortant de la chaudière à cuire pour faire des chauffages avec sa température propre. L'appareil de Degrand, où la vapeur produite par le sirop circule dans un serpentín arrosé par le liquide à évaporer, n'est pas autre chose, et plus tard la maison Cail étendit cette idée au triple-effet en intercalant un réchauffeur tubulaire entre la troisième caisse du triple-effet et le condenseur à injection.

« Les choses restèrent stationnaires ainsi pendant de longues années, et elles le seraient probablement encore, si Rillieux n'eût eu l'idée, en 1881, d'employer la vapeur des premières caisses du triple-effet et du quadruple-effet, avec leur température propre, à faire, non seulement l'évaporation dans la caisse suivante, mais encore les chauffages correspondant à ces températures dont peut avoir besoin l'usine.

« On m'a demandé souvent comment était née cette invention du chauffage à effets multiples qui porte, associés en Autriche, les noms de Rillieux et de Lexa.

« Lexa était alors représentant de Rillieux en Autriche. Se trouvant un jour avec moi dans le bureau de Rillieux, nous causions justement du réchauffeur Cail devenu inutile pour réchauffer les jus bruts depuis l'emploi de la diffusion qui envoie les jus déjà chauds à la carbonatation. Rillieux eut soudain l'idée d'employer les vapeurs du premier corps du triple-effet pour faire ces chauffages. Alors, en quelques instants il couvrit une feuille de papier de chiffres, et nous dit qu'il y avait là une source réelle et nouvelle d'économie de charbon.

« Lexa partit en Autriche, fit des essais qui réussirent admirablement, et, avec l'assentiment de Rillieux, prit le plus vite possible les brevets de chauffages à effets multiples en Autriche, France et Belgique

avant qu'aucune publicité ne fut donnée à ses expériences, et c'est ainsi que ces brevets portent son nom. Ultérieurement fut passé un accord qui nous associait Lexa dans l'exploitation des brevets autrichiens sous le nom de Rillieux-Lexa, et qui rétrocédait complètement les brevets français et belges à Rillieux seul propriétaire.

« Cette idée géniale devait apporter des modifications profondes dans le matériel des sucreries ; aussi les usines dans lesquelles le système Rillieux est appliqué ont-elles pris un aspect nouveau qui frappe de suite les visiteurs. Outre que le triple-effet est généralement transformé en quadruple-effet, les jus, avant de se rendre à leur destination ordinaire, passent dans des réchauffeurs placés en batterie qui reçoivent eux-mêmes leurs vapeurs de chauffage du premier et du deuxième corps du quadruple-effet. En sorte que les chaudières de carbonatation et autres ne font plus usage de leurs serpentins, et que les jus sont chauffés par la vapeur provenant du jus lui-même, à double et triple-effet.

« Quand on applique une invention nouvelle, surtout quand cette invention est aussi vaste que celle des chauffages et doit se plier à toutes les exigences si diverses des usines, et surtout encore lorsque l'on doit utiliser le matériel existant déjà, il se présente nécessairement des cas non prévus tout d'abord.

« C'est ainsi que, dès la seconde année, en 1883, Rillieux signala dans ses brevets des dispositifs spéciaux à certains cas particuliers, et entr'autres l'extension du système Pelletan de la compression de la vapeur, par des pompes ou autres moyens qu'il indique, au chauffage à effets multiples, en prenant la vapeur sur un autre corps que le dernier, sur le deuxième corps, par exemple, dont la température est trop basse pour certains chauffages. Une application en fut même faite et donna de bons résultats. Seulement, ce système demande des compresseurs de si grande dimension, qu'il n'est pas d'une application générale à cause du prix élevé de l'appareil, et s'il a pu être employé une fois, c'est que le compresseur existait déjà dans l'usine.

« Bien des dispositions autres que le montage si simple du chauffage conjugué avec le quadruple-effet ont dû être employées, etc.... »

Suivent quelques considérations sur la transformation des usines dans lesquelles on applique le système.

Mais revenons à la théorie du procédé lui-même.

Nous avons vu que dans le triple-effet type dont nous avons fait tous les calculs, la vapeur sort du premier corps à 101°,25 pour aller chauffer le deuxième corps.

Si l'on considère que ce premier corps est en réalité un générateur de vapeur à 101°,25, il est évident que l'on peut utiliser cette vapeur à tous

les usages, c'est-à-dire soit à évaporer le jus du deuxième corps, soit à chauffer les liquides de l'usine dans des réchauffeurs, soit aussi aux deux à la fois. Mais dans ce dernier cas il est évident que si l'on distrait une partie de la vapeur à faire des chauffages, il n'y en aura plus assez pour évaporer le jus dans le corps suivant, à moins de changer le régime de l'appareil, ou de donner au premier corps une surface plus grande et telle qu'elle puisse fournir la quantité de vapeur nécessaire au travail qu'on lui demande.

En effet si l'on donne une surface de chauffe plus grande à ce premier corps qu'au second et au troisième, la somme totale de surface de chauffe des trois corps restant la même, qu'arrivera-t-il ?

Comme chaque mètre carré évapore toujours ses 10 hectolitres de jus, selon ce que nous avons dit antérieurement, il arrivera que le premier corps fournira plus de vapeur qu'il n'en faut pour le deuxième corps plus petit que lui, et qu'alors l'excédent pourra être utilisé à des chauffages, sans que l'équilibre de l'appareil soit rompu, c'est-à-dire la température du premier corps restant à $101^{\circ},25$ et l'appareil entier évaporera néanmoins la même quantité de jus que celle qu'il traitait primitivement. Et en effet, raisonnons sur notre triple-effet de 400 mètres concentrant 4.000 hectolitres de jus par 24 heures, ce qui correspond à 3.200 hectolitres d'eau évaporée.

L'appareil ordinaire aurait pour chaque caisse une surface égale, soit de $\frac{400}{3} = 133^m,33$.

Donnons à cet appareil la forme suivante : premier corps : 200 mètres, deuxième corps : 100 mètres, troisième corps : 100 mètres.

Pour que l'équilibre dans les températures ne soit pas changé, il faut que le premier corps concentre 2.000 hectolitres de jus, le deuxième 1.000 et le troisième 1.000, en tout 4.000.

Mais si le premier corps évapore 2.000 hectolitres, comme le deuxième n'évapore que 1.000 hectolitres, il y aura donc la vapeur de 1.000 hectolitres qui restera disponible pour faire les chauffages.

C'est sur cette donnée que sont construits les appareils à chauffages à effets multiples, ainsi nommés parce que la vapeur prise sur le premier corps, par exemple, fait du chauffage à double-effet aussi bien qu'elle fait de l'évaporation à double-effet dans le deuxième corps. De la vapeur prise sur le deuxième corps ferait du chauffage et de l'évaporation à triple-effet, et ainsi de suite.

Notre premier corps étant à $101^{\circ},25$, en donnant aux réchauffeurs une surface suffisante, on pourra facilement chauffer les jus à 90° , laissant 10° d'écart entre la vapeur chauffante et le jus chauffé.

Le second corps ne produit la vapeur qu'à 86°,5. On ne pourrait donc obtenir dans les réchauffeurs que 76°. A la rigueur on pourrait se contenter de cette température pour chauffer le jus à la première carbonatation.

On voit donc que le triple-effet en marche normale pourrait fournir des vapeurs à des températures suffisantes pour le travail de l'usine. Mais ce chauffage n'offre aucune élasticité, attendu qu'il faut prévoir dans un montage le cas de ralentissement momentané de l'appareil, et d'abaissement de température de la vapeur chauffante qui en est la conséquence. Par conséquent avec un triple-effet on ne peut songer à faire des chauffages à plus du double effet, c'est-à-dire avec la vapeur du premier corps seul.

Avec le quadruple-effet au contraire on se trouve dans de bonnes conditions pour faire des chauffages à triple-effet.

Les températures des vapeurs dans les retours et les quatre caisses d'un quadruple-effet sont :

112	105,5	96	84,5	67
-----	-------	----	------	----

On peut donc avec la vapeur à 96° de la deuxième caisse chauffer les jus à plus de 75°, même si l'appareil ralentit sa marche.

Dans le quintuple-effet la troisième caisse est à 90° environ, on peut donc faire des chauffages à quadruple-effet avec la vapeur de cette troisième caisse, et ainsi de suite.

Par conséquent l'ingénieur est toujours maître de faire tel ou tel travail qui lui convient en modifiant le nombre des effets successifs d'un appareil d'évaporation, et choisissant parmi les corps de l'appareil celui qui lui fournira la vapeur à la température la plus convenable pour obtenir le chauffage désiré.

Mais il est évident que plus on multipliera le nombre des effets, moins il restera de vapeur à condenser à la sortie du dernier corps ; qu'ensuite, plus on empruntera de vapeur aux corps intermédiaires, plus petit aura besoin d'être le corps extrême, et plus grande alors sera l'économie du système, puisque l'on enverra ainsi moins de vapeur au condenseur et de là dans le ruisseau.

Par conséquent on peut calculer l'économie que rapportera l'établissement d'un système combiné d'évaporation et de chauffage par celle des calories qui ne se perdent plus après le dernier corps d'évaporation.

En général on fait le calcul de l'économie qui résulte des chauffages à effets multiples en comparant le tableau des dépenses de vapeur de l'usine dans l'un et l'autre cas. Or on remarque qu'en calculant ainsi ou

bien en recherchant la différence de perte au condenseur de l'appareil d'évaporation, le résultat est le même.

Nous allons, pour en donner une idée, faire le double calcul.

Pour ne pas compliquer les chiffres, nous allons considérer les quantités de vapeurs condensées pour le travail d'un hectolitre de jus.

Les chiffres suivants sont pris sur le contrôle d'une des usines que nous avons installées.

On y employait par hectolitre :

Pour la diffusion	4,4 kil. de vapeur	
— la 1 ^{re} carbonatation	8,0	—
— la 2 ^e —	7,5	—
— réchauffer le jus avant l'évaporation	3,5	—
— l'évaporation à triple-effet (soit 1/3 de 80 d'eau évaporée).	26,7	—
+ le chauffage du sirop	1,0	—
— la cuite 1 ^{er} jet	8,0	—
— la cuite des autres jets	1,7	—
— turbinage et radiations	10,0	—
Total	<u>70,8</u>	kil. de vapeur.

On voit qu'avec la marche à triple-effet on perd 26,7 kilogrammes de vapeur dans le condenseur. Il n'y avait pas de réchauffeur à la suite du triple-effet.

Avant de passer à la modification complète de cette usine, supposons que nous arrangions notre triple-effet comme nous l'avons indiqué précédemment en donnant au premier corps une surface double de celle du deuxième et du troisième corps.

Sur 80 kilogrammes d'eau à évaporer sur le jus, notre premier corps pourra déjà en vaporiser 40 kilogrammes. Il ne restera plus que 20 kilogrammes pour le deuxième corps et 20 kilogrammes pour le troisième corps.

Le premier corps devant fournir 20 kilogrammes de vapeur au deuxième corps, il restera 20 kilogrammes de vapeur disponibles pour les chauffages.

Or nous avons ici la première et la deuxième carbonatation, le chauffage avant l'appareil et le sirop qui demandent ensemble 20 kilogrammes de vapeur. Le premier corps pourra donc faire ces chauffages.

Comme notre premier corps demande 40 kilogrammes de vapeur pour être chauffé lui-même, en supposant la disposition de l'usine telle que les retours suffisent pour la marche ordinaire en triple-effet, il faudra

fournir aux vapeurs de retour le complément à 26,7 pour faire 40, soit 13^k,3 de vapeur vierge.

Le travail de l'usine devient dans ces conditions

Diffusion	4,4
1 ^{er} corps du triple-effet	40,0
Cuite 1 ^{er} jet	8
Cuites 2 ^e et 3 ^e jet	1,7
Turbines et pertes	10,0
Total.	64,1

Les termes qui manquent sont ceux des postes chauffés au moyen des 20 kilogrammes de vapeur disponibles du premier corps du triple-effet.

L'économie de vapeur de ce montage sur celui à triple-effet ordinaire est $70,8 - 64,1 = 6^k,7$ de vapeur.

De même, comme le dernier corps n'envoie plus que 20 kilogrammes de vapeur au condenseur au lieu de 26,7, l'économie de ce chef est $26,7 - 20 = 6^k,7$, chiffre identique au précédent.

Supposons maintenant que, sans faire de chauffages on transforme simplement le triple-effet en quadruple-effet à quatre caisses égales de 100 mètres. Il faudra envoyer dans le premier corps $\frac{80}{4} = 20$ kilogrammes de vapeur pour le chauffage.

On perdra au condenseur 20 kilogrammes de vapeur, et l'économie sera de $26,7 - 20 = 6^k,7$, soit exactement la même qu'en faisant du chauffage conjointement avec l'évaporation à triple-effet.

Malheureusement, dans ce cas, comme on dispose de 26^k,7 de vapeur de retour, on perdra sur le toit $26,7 - 20 = 6^k,7$ de vapeur, et il n'y aura pas d'économie du tout.

D'ailleurs c'est là l'écueil des appareils à plus de trois effets en sucrerie de betterave, on dispose toujours de trop de vapeur de retour, et l'on en perd sur le toit ; alors on ne retrouve pas d'économie !

Maintenant appliquons les mêmes chauffages que précédemment avec le quadruple-effet, en chauffant les jus de première carbonatation avec la vapeur du deuxième corps, et les autres stations avec le premier corps.

Le travail de l'usine devient alors :

Diffusion	4,4
1 ^{er} corps du quadruple-effet	33
Cuite 1 ^{er} jet	8
Cuites de 2 ^e et 3 ^e jet	1,7
Turbines et pertes	10
Total.	57,1

L'économie sur le triple-effet est de $70,8 - 57,1 = 13,7$ de vapeur, ou bien, sachant que le quatrième corps ne laisse plus s'échapper que 13 kilogrammes de vapeur au condenseur, on a $26,7 - 13 = 13,7$, chiffre identique.

Enfin comme nous pouvons chauffer également la diffusion et les cuites au moyen du premier corps et du deuxième corps le tableau précédent se réduit à deux termes :

1 ^{er} corps du quadruple-effet	42,48
Turbines et pertes	10
Total.	52,48

donnant une économie de $70,80 - 52,48 = 18,32$ kilogrammes de vapeur par hectolitre de jus comparé au triple-effet, soit 25,9 %.

On peut calculer de même cette économie en comparant la quantité de vapeur sortant du troisième corps du triple-effet 26,7 à celle sortant du quatrième corps du quadruple effet avec chauffage qui n'est plus que de 8,38, et on trouve $26,70 - 8,38 = 18,32$ nombre identique.

Avec un quintuple-effet l'économie serait bien plus grande encore. Il est même probable que les usines qui voudront faire les chauffages les plus multipliés trouveront un grand avantage au quintuple-effet, car le quatrième et le cinquième corps sont si petits et la pompe à air si réduite, qu'un quintuple-effet avec chauffage ne coûtera pas davantage qu'un quadruple-effet.

En effet, on peut, avec le quintuple-effet, faire tous les chauffages au moyen du deuxième et du troisième corps, ou à peu près.

Les températures des différents corps, y compris celle des retours, sont dans les appareils à quintuple-effet à corps égaux.

<u>Retours</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
112	106	99,5	91	79	60

En proportionnant les caisses de manière à conserver ces mêmes températures, tout en faisant les chauffages, on voit que l'on peut chauffer la diffusion au moyen du troisième corps, ainsi que la première carbonatation, la deuxième carbonatation avec la vapeur du deuxième corps

et un appoint du premier, de même pour les sirops. La cuite recevra la vapeur du premier et du deuxième corps par moitié.

En opérant ainsi, le tableau devient :

1 ^{er} corps du quintuple-effet	36,7
Turbines et pertes	10
Total.	46,7

Le quatrième et le cinquième corps n'ont plus alors qu'à évaporer 2^k,12 chacun, et l'économie devient $70,8 - 46,7 = 24,1$ ou 34 % !

On voit que dans ce cas les surfaces de chauffe du quatrième et du cinquième corps deviennent très peu de chose.

On arrive ainsi presque à la limite de l'économie possible qui est de 37,8 % sur le triple-effet, correspondant à l'emploi total de la vapeur du troisième corps. La quantité de vapeur 2^k,12 par hectolitre est même tellement faible que le moindre condenseur à surface suffirait pour la condenser au profit d'un travail quelconque de l'usine, et l'on arriverait ainsi à l'économie maxima de vapeur sans difficulté.

Cette économie maxima correspond, disons-nous, à l'emploi total de toutes les calories contenues dans les vapeurs de l'usine se transformant en eau condensée dans l'appareil d'évaporation et les réchauffeurs.

Il y aurait cependant encore une économie à réaliser, et alors on arriverait à la perfection. En effet les eaux condensées dans les corps du quintuple-effet et dans les réchauffeurs sont chaudes, il faudrait les utiliser.

On arrive bien à alimenter les générateurs avec les eaux condensées du premier corps et un appoint du second pour remplacer les 10 kilogrammes de perte, on arrive bien aussi à employer une partie des eaux chaudes en excès à la diffusion, mais le reste des calories est perdu dans le ruisseau.

Nous avons vu dans une usine russe une disposition permettant de récupérer quelques-unes de ces calories, les eaux chaudes circulant dans des serpentins entourés de jus à réchauffer, mais le résultat était bien minime.

Si l'on calcule que le travail d'un hectolitre de jus demande environ 25.000 calories de chaleur latente de la vapeur employée avec notre système de quintuple-effet, que toutes les eaux condensées contiennent encore 11.500 calories dont on ne récupère guère que 6.500 dans les eaux d'alimentation, on voit que l'on perd encore 5.000 calories, soit 1/5 de la quantité totale produite dans les générateurs.

Jusqu'à ce qu'un procédé quelconque de fabrication nous donne l'em-

ploi de ces calories, nous devons donc les perdre, heureux si nous arrivons au maximum que nous venons d'indiquer pour l'économie de combustible, chiffre auquel bien peu de fabricants sont encore parvenus.

Et cependant il est des usines en Autriche qui y arrivent, puisqu'elles ne dépensent que 60 kilogrammes de charbon par tonne de betteraves. Il suffit donc de le vouloir pour obtenir ces bons résultats.

En résumé, le maximum d'économie que l'on puisse réaliser sur l'emploi de triple-effet normal est de 37,8 % de la vapeur totale de l'usine.

Au moyen du quintuple-effet et des chauffages à effets multiples on peut arriver à économiser 34 % de cette vapeur.

L'économie serait plus grande encore si l'on pouvait récupérer les calories de toutes les eaux chaudes de condensation.

On ne peut pas aller plus loin dans ce sens avec nos ressources actuelles, à moins de disposer d'une force mécanique gratuite, comme les chutes d'eau qu'emploie Piccard pour l'évaporation des eaux des salines, auquel cas le travail devient entièrement gratuit, comme nous le verrons plus loin.

Si le quintuple-effet paraît être l'appareil limite pour la sucrerie de betterave, il peut arriver des cas où l'on ait avantage à pousser encore plus loin l'économie en employant le *sextuple-effet*.

C'est ce qui s'est présenté pour la sucrerie d'Egypte de Nag-Hamadi, appartenant à la Société Say et C^{ie}.

Placée très loin d'Alexandrie, le charbon y revient à un prix excessivement élevé ; employant la diffusion il y a une quantité de jus à évaporer plus considérable qu'avec les moulins. Le problème était donc de n'employer que la bagasse exclusivement pour le chauffage des générateurs.

Dans ces conditions nous avons construit un sextuple-effet qui répondait parfaitement aux données du problème.

Ajoutons que l'une des autres sucreries existantes et appartenant à la même compagnie ayant doublé son travail, nous avons établi un second sextuple-effet pour doubler le quintuple-effet existant déjà. Ces deux sextuple-effets sont les seuls qui existent au monde, et ils ont été établis dans des conditions excellentes qui en font des instruments parfaits.

Dans un sextuple-effet les températures sont les suivantes :

Retours	1	2	3	4	5	6
112	107,6	102,5	95,9	87,5	75,8	58

on peut donc faire les chauffages avec les trois premiers corps sans difficultés et même commencer certains chauffages avec le quatrième corps et rabaisser encore la consommation de vapeur de 46,7 du quintuple-effet à 36,7 et l'économie devient $70,8 - 36,7 = 34,1$ ou 48,7 % sur la consommation du triple-effet.

Seulement les cinquième et sixième caisses sont dans ce cas 35 fois plus petites que la première. Si cela est parfaitement indifférent au point de vue de la construction et de la marche générale quand l'appareil fonctionne en plein, il n'en est pas moins vrai que dans une usine il faut compter avec les marches anormales qui peuvent se présenter; et en cas de marche anormale, d'absence de chauffage, d'avaries à la diffusion, à la cuite ou ailleurs, un semblable appareil pourrait être fort gênant.

D'ailleurs dans le cas particulier où nous avons appliqué le sextuple-effet, les chauffages ne se portant pas sur des chiffres aussi élevés qu'en sucrerie de betterave, le rapport des caisses était très acceptable et nous avons obtenu un appareil de marche absolument parfaite et d'une régularité remarquable.

Système Pauli. — Au système Rillieux les Allemands ont voulu opposer un autre de leur soi-disant invention, quoiqu'il soit tout entier dans les brevets Rillieux. C'est le système Pauli dont nous parlons parce qu'il est assez répandu.

Dans une usine possédant un appareil d'évaporation quelconque, au lieu de transformer l'appareil comme il convient pour faire les chauffages, on met auprès de lui une nouvelle caisse à jus chauffée à vapeur directe, et dont on emploie la vapeur à faire les différents chauffages de l'usine, qui sont alors tous à double-effet.

Il n'est pas difficile de voir que cette méthode est peu économique et c'est pourquoi Rillieux ne l'avait pas employée.

En effet si nous prenons le travail d'une usine montée à triple-effet, comme en général avec le système Pauli on ne chauffe que les jus de carbonatation et les sirops, divisons le travail comme suit :

Diffusion cuites et pertes.	27,6	kil. de vapeur par hectol. de jus
Evaporation (triple-effet).	33,4	— —
Chauffages des jus et sirops.	20	— —
Total.	81,0	kil. de vapeur par hectol. de jus

Avec le système Pauli on aura :

Diffusion cuites et pertes.	27,6	kil. de vapeur par hectol. de jus
Evaporation et caisse Pauli	46,66	— —
Total.	74,26	kil. de vapeur par hectol. de jus

on gagne donc $81 - 74,26 = 6,74$ kilogrammes de vapeur par hectolitre de jus, c'est-à-dire que l'on fait une économie de 8,3 %. Or une économie de ce genre est à peine appréciable dans le travail courant où la consommation de charbon varie d'une quantité plus grande que cela d'un jour à l'autre, suivant que l'usine travaille vite ou lentement. De plus elle ne couvre pas les frais d'achat d'une grande caisse et des réchauffeurs et celui de la remonte.

Ce montage est donc un leurre dont les fabricants de sucre devront se méfier.

Réchauffeurs. — Le chauffage du jus dans ces différents montages se fait au moyen de réchauffeurs dont la forme varie avec les constructeurs.

Nous avons décrit (p. 583) l'un des premiers qui ait été construit, le réchauffeur que la maison Cail a installé à la suite de son triple-effet pour réchauffer les jus avant la défécation.

Un technologue Russe de grande valeur, Semirenko, a perfectionné cet appareil dans lequel existe un grand défaut : les jus y circulent trop lentement. Semirenko a construit alors un réchauffeur formé d'une série de corps tubulaires de diamètre beaucoup plus petit, empilés les uns sur les autres par groupes de deux et réunis par de grosses tubulures. La vapeur circule à l'extérieur des tubes en parcourant tous les éléments dans leur longueur. Le jus circule au contraire à l'intérieur des tubes en allant également de l'un à l'autre corps tubulaire, mais en sens inverse de la vapeur. On obtient ainsi un effet utile beaucoup plus grand de la surface de chauffe, car le liquide chauffé circule beaucoup plus rapidement que dans le réchauffeur Cail.

Jelinek en Autriche, Bormann, Schwede et Temler en Russie, ont encore perfectionné l'appareil Semirenko, en réunissant en un seul faisceau l'ensemble des corps tubulaires du premier inventeur, et faisant circuler le jus dans des groupes de tubes séparés par des cloisons. L'effet est le même, mais l'appareil est moins volumineux. Jelinek a malheureusement eu tort de vouloir chicaner la vapeur pour la faire circuler, comme dans l'appareil Semirenko, en sens inverse du jus. Il n'est parvenu qu'à produire des circuits dans lesquels la vapeur se trouve gênée sans réaliser le programme désiré, car dans une partie des faisceaux le jus circule dans le sens de la vapeur. L'appareil Bormann est mieux conçu dans ce sens, quoique nous préférions la suppression totale des chicanes, la vapeur se rendant naturellement là où se trouve les points à chauffer le plus efficacement.

En Allemagne et presque partout en Autriche on emploie des réchauf-

feurs verticaux fort larges dans lesquels le jus circule lentement et irrégulièrement. Ces réchauffeurs, malgré leur vogue, sont très mauvais,

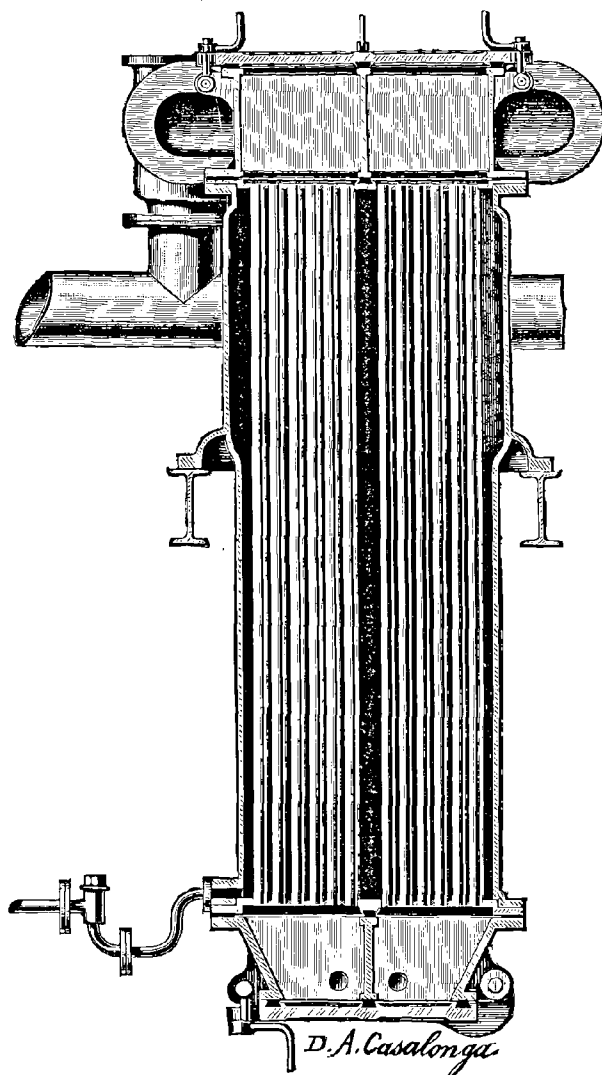


Fig. 131

car si l'on regarde de près ce qui s'y passe, on voit que le jus circule dans des faisceaux de tube représentant la section du tuyau d'arrivée de jus, et qu'il reste stagnant dans les autres. On est donc obligé avec

ce système d'avoir une très grande surface de chauffe pour obtenir un petit effet.

Néanmoins le réchauffeur vertical a un grand avantage sur les appareils horizontaux, c'est le dégagement facile des gaz et des mousses qui se cantonnent parfois dans les tubes horizontaux.

Aussi ai-je pensé à faire construire des réchauffeurs verticaux ayant tous les avantages des horizontaux sans en avoir les inconvénients.

Ces réchauffeurs (fig. 131) se composent d'un corps tubulaires de longueur variable sans aucune chicane intérieure. Sur la plaque tubulaire supérieure se trouve une rehausse en fonte avec couvercle à charnière.

Le jus arrive par une tubulure latérale à cette rehausse, et sort par une seconde tubulure placée près de la première. Des parois venues de fonte avec la rehausse forment trois compartiments étanches pour diriger le jus comme nous allons l'expliquer.

Sous la plaque tubulaire inférieure se trouve un fond conique muni d'une porte à charnière également, et de deux robinets de vidange. Une paroi, venue de fonte également, partage en deux compartiments étanches la partie inférieure du réchauffeur.

Le jus entre par la tubulure, pénètre dans le premier compartiment, descend dans les tubes, remonte dans le compartiment d'arrière guidé par la paroi du bas, redescend encore une fois, et remonte en dernier lieu dans le compartiment où se trouve la seconde tubulure. Il fait donc quatre parcours verticaux dans les tubes.

La somme des sections des tubes de chaque compartiment est calculée de telle sorte qu'elle fasse la même section que la tubulure d'arrivée de jus, de telle sorte que la vitesse du liquide dans le réchauffeur soit la même que dans la tuyauterie générale. Il n'y a donc pas d'espaces chauffants pouvant permettre une stagnation du jus.

En avant des tubulures d'entrée et de sortie de jus se trouve un faisceau de robinets qui permet la circulation du jus dans le réchauffeur, ou son passage dans la tuyauterie générale sans passer par le réchauffeur qui se trouve ainsi isolé pour les nettoyages.

La longueur des tubes du faisceau tubulaire est calculée suivant la nature du chauffage que l'on veut effectuer, sans dépasser les dimensions possibles pour la construction; de sorte que ces réchauffeurs ont de 10 à 35 mètres dans des conditions qui permettent leur facile montage. Le réchauffeur représenté ici est de la construction Maguin.

Pour obtenir une grande surface de chauffe on accouple plusieurs de ces réchauffeurs, et l'on en met un en supplément pour permettre le nettoyage sans arrêter le travail.

La figure ci-dessous (fig. 132) représente l'installation de nos réchauffeurs conjugués avec un quadruple-effet vertical.

La première caisse du quadruple-effet est en avant, munie de sa soupape Dulac. En arrière, branché sur le vase de sûreté, s'échappe un tuyau qui vient en avant de la figure pour chauffer six réchauffeurs, ceux de deuxième carbonatation, de sirop et de jus filtré.

La seconde caisse envoie de même manière de la vapeur dans deux

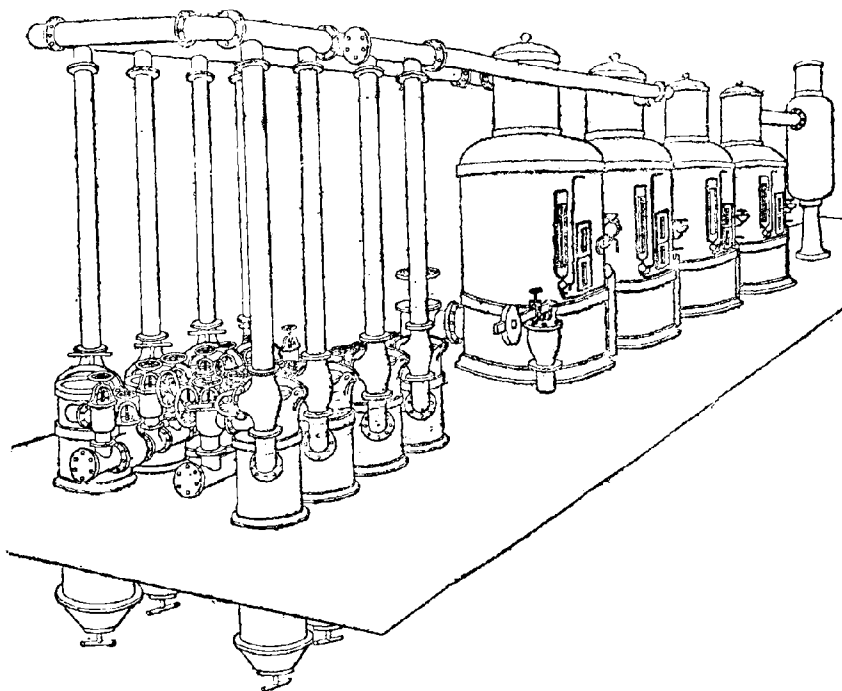


Fig. 132.

réchauffeurs pour la première carbonatation. On voit que chaque réchauffeur a son tuyau de vapeur spécial muni d'une valve pour l'arrêt, et l'on peut apercevoir aussi la disposition de la tuyauterie de jus.

La vapeur de la quatrième caisse se rend dans un réchauffeur Cail. Nous utilisons ce réchauffeur en lui faisant la modification nécessaire pour forcer le jus à effectuer quatre circuits comme dans nos autres réchauffeurs.

Cette figure est la reproduction d'un petit appareil de démonstration construit par la maison E. et J. Halot et C^{ie} de Bruxelles pour figurer à l'Exposition Universelle de Paris de 1889.

Sur ce modèle nous avons installé beaucoup d'appareils ; celui de Coucy-les-Eppes, construit par Mariolle-Pinguet de Saint-Quentin était des plus réussis. Mais celui qui nous a donné jusqu'ici en France le meilleur résultat a été établi chez Cranney-Lalanne à Ercheu, chez lesquels la consommation de charbon est descendue à moins de 80 kilogrammes par tonne de betterave, quoique la cuite s'y fasse à vapeur directe.

Nos montages d'Autriche sont faits au moyen de caisses horizontales, en général. Ceux de Russie comportent souvent des caisses de toutes natures. Les résultats dans tous ces cas sont aussi parfaits les uns que les autres, et en Autriche surtout, où pas un atome de vapeur directe ne passe ailleurs que dans l'appareil, tous les chauffages de l'usine se faisant au moyen de la vapeur prise sur le quadruple-effet, on est descendu ainsi à 60 kilogrammes de charbon par tonne de racines.

Mais nos plus belles installations sont sans contredit celles que nous avons faites en Egypte avec quintuple et sextuple-effets horizontaux et réchauffeurs du système que nous venons de décrire.

Sans parler du sextuple-effet qui est le modèle du genre, le quintuple-effet est un appareil excessivement facile à conduire, d'une grande stabilité dans les chutes, et plus à l'abri que les autres de variations brusques dans la marche. Le quadruple-effet qui est déjà meilleur que le triple-effet est bien inférieur au quintuple-effet sous ce rapport.

En sorte qu'aujourd'hui, étant donné que les chauffages peuvent être exécutés tous avec de la vapeur de jus, comme la dépense d'achat d'un quintuple-effet n'est pas plus grande que celle d'un quadruple-effet pour les raisons que nous avons indiquées, nous considérons comme bien préférable l'installation d'un quintuple-effet dans une usine que de tout autre appareil.

Indicateurs du vide. — Avant de quitter cette question, j'appellerai l'attention sur les indicateurs du vide figurés sur notre dessin, et qui sont de notre construction. En effet, faute d'appareils absolument pratiques, les indicateurs à mercure ont été abandonnés pour les indicateurs métalliques, bien que ceux-ci ne soient pas très bons. Les premiers appareils à mercure, en effet, présentaient de réelles défauts ; ils nécessitaient des tubes de verre spéciaux et très chers, qui, mal protégés, se trouvaient à la merci de tous les chocs ; de plus, faits de verre épais, ils se brisaient facilement aux variations de température. Enfin la colonne mercurielle était toujours surmontée d'une colonne d'eau qui en faussait les indications. Avec les indicateurs métalliques, les variations brusques qui se produisent dans les appareils les faussent rapide-

ment, l'eau vient encore les fausser davantage, de sorte qu'il est rare de voir un appareil donner une indication exacte.

Dans notre indicateur de vide et de pression à mercure, nous nous sommes efforcés d'écartier ces inconvénients et nous pouvons dire que nous avons réussi (fig. 133).

L'appareil repose sur une plaque de fonte, portant à deux extrémités

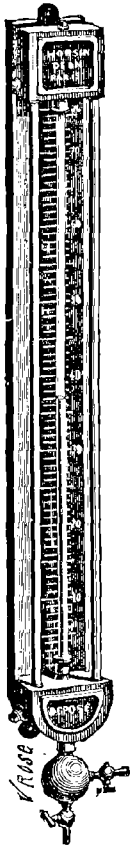


Fig. 133.

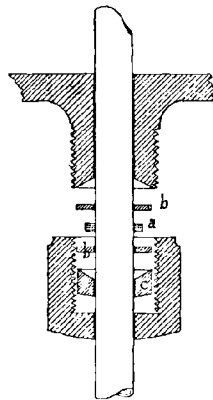


Fig. 134

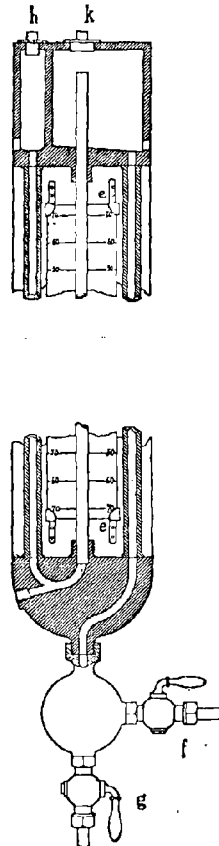


Fig. 135.

deux boîtes reliées par deux tubes d'acier qui protègent un tube de verre placé entre eux deux un peu en arrière. Ces trois tubes communiquent entre eux. Le tube de droite et celui de verre par la boîte supérieure ; le tube de verre et le tube de gauche par la partie inférieure, formant un tube en U dans lequel se trouve le mercure.

Une boule de purge placée en dessous de l'indicateur porte deux robinets.

Le tube de verre est en verre mince ordinaire, d'un usage courant dans les laboratoires. Son changement est facile ; il est réuni aux pièces de fonte par deux joints (fig. 134), en forme de presse-étoupe renversé, la boîte étant la partie mobile. Entre l'écrou et la partie taraudée sur laquelle se fait le serrage, on place sur le tube de verre une rondelle de caoutchouc *a* entre deux rondelles de cuir *b*, puis une bague métallique *c*.

Lorsque l'on serre l'écrou, la rondelle de caoutchouc s'écrase sur le tube formant ainsi un joint hermétique. Les deux rondelles de cuir sont nécessaires pour empêcher le caoutchouc de toucher au métal, son adhérence rendant ensuite le joint difficile à défaire. On introduit le tube de verre par le bouchon *k* (fig. 135).

Derrière le tube de verre se trouve une échelle graduée en centimètres de mercure de -76 à $+76$ centimètres, le 0 étant au milieu, et en températures correspondantes. Cette règle est en émail teinté de façon que le mercure tranche nettement sur elle ; de plus elle a été placée aussi près que possible du tube de verre pour éviter les erreurs de lecture, ce qui nécessite de l'enlever pour changer le tube.

Mais cette opération est facile, il suffit d'enlever deux vis et de faire basculer les deux petites pièces, indiquées en *e* qui lui servent de support.

La boule de purge placée au bas de l'indicateur, communiquant avec le tube d'acier de droite et par suite avec le mercure contenu dans les deux autres tubes, est munie de deux robinets à raccord. Celui du côté *f* est mis en communication par un tube avec le haut de la caisse du triple-effet, dont on veut connaître la pression et celui du bas *g* avec le bas de la caisse suivante.

Ainsi l'indicateur étant placé sur la première caisse, le robinet *f* communiquera avec le haut de cette caisse, comme pour les manomètres métalliques, et le robinet *g* avec le bas de la deuxième caisse.

Cette disposition et la forme de l'appareil, font que toute l'eau condensée dans les tubes s'en ira dans la deuxième caisse et ne viendra pas s'accumuler sur le mercure. En laissant *g* faiblement ouvert, on n'influencera pas sensiblement l'indication de l'appareil.

Ce dispositif permet en même temps de contrôler la bonne marche de l'appareil, puisqu'il donne la facilité de s'assurer que la chute de température qui existe entre le haut d'une caisse et le bas de la caisse suivante reste toujours normale.

Ainsi, dans les appareils bien construits, cette chute se traduit par $1/2$ ou 1 centimètre de mercure. Une plus forte différence annoncerait une défectuosité dans la construction ou une obstruction.

Pour mettre le mercure dans l'appareil, on s'assure que tous les

écrous sont bien serrés, puis l'on dévisse un petit bouchon *h* qui se trouve sur la boîte du haut, et par l'ouverture laissée libre, on verse le mercure jusqu'à ce qu'il arrive au milieu du trait *o* de l'échelle. Pour vider l'indicateur, un bouchon semblable *i*, se trouve sur le côté de la boîte du bas.

§ 13. — Procédé P. Piccard.

Nous ne pouvons pas quitter notre sujet sans parler du système construit par l'ingénieur émérite Piccard de Genève, pour évaporer les eaux des salines, et de son essai d'application du même système à la sucrerie, en collaboration avec Weibel.

Le principe du système Piccard est celui-ci.

Lorsque dans une chaudière close munie d'une surface de chauffe tubulaire ou autre, comme par exemple une chaudière à cuire ordinaire, on fait de l'évaporation, la vapeur de chauffage arrive à une certaine pression, se condense, et sort à l'état d'eau à une température déterminée.

D'un autre côté le liquide en évaporation se trouve, grâce au vide, à une température plus basse que celle de la vapeur de chauffage, et la différence de température entre la vapeur chauffant et le liquide chauffé représente la chute de chaleur qui fait bouillir ce liquide.

Le liquide évaporé abandonne sa vapeur au condenseur à une température correspondant au vide obtenu dans l'appareil.

Si par exemple nous agissons sur de l'eau pure, en supposant la vapeur de chauffage à 112°, l'eau bouillant à 60° dans la chaudière, et la vapeur émise également à 60°, 1 kilogramme de vapeur de chauffage possédera une quantité de calories que nous avons vu (page 512) être égale à :

$$\lambda = L + U + A p u$$

L est la quantité de calories nécessaire pour porter l'eau à l'état de vapeur, (*U + Apu*) est la chaleur latente de la vapeur.

Prenons les nombres simplifiés représentant ces deux valeurs.

Pour évaporer l'eau dans le générateur qui a donné la vapeur à 112, il a fallu d'abord réchauffer cette eau à 112, soit $L = 112$ calories, et lui fournir en chaleur latente 528 calories. La vapeur de chauffage contient donc

$$\lambda = 112 + 528 = 640 \text{ calories}$$

Cette vapeur se condense. Elle transmet donc au liquide chauffé toutes

ses calories latentes, 528, et l'eau condensée restant sous la même pression que la vapeur s'écoule à 112°.

D'autre part l'eau chauffée se vaporise. La vapeur formée à 60° contient

$$\lambda = 60 + 564 = 624 \text{ calories}$$

En supposant que l'eau arrive chaude dans l'appareil, les 528 calories abandonnées par la vapeur se sont transmises intégralement à l'eau chauffée qui demandait 564 calories pour se transformer en vapeur.

1 kilogramme de vapeur à 112° a donc produit $\frac{528}{564} = 0^k,93$ de nouvelle vapeur à 60°.

D'ailleurs la perte totale de calories dans cette transformation est de $640 - 624 = 16$ degrés, tandis que la chute de température qui fait bouillir le liquide est de $112 - 60 = 52^\circ$.

Si l'on pouvait reprendre cette vapeur à 60° contenant 624 calories et lui rendre les 16 calories perdues pour la reporter à 640, cette même vapeur pourrait servir à revaporiser encore 0^k,93 d'eau dans le même appareil et dans les mêmes conditions, et la chose semble facile étant donné le petit écart de 16° entre les chaleurs totales contenues dans ces vapeurs. De la sorte la vapeur à 60° redeviendrait de la vapeur à 112, ou, en atmosphère, la vapeur passerait de 0,2 atmosphère à 1,5, pression primitive.

On voit de suite, d'après ces derniers mots, qu'il suffit de comprimer la vapeur de 0,2 à 1,5 pour arriver à ce résultat. C'est ce qu'a fait Piccard.

Mais la compression va-t-elle bien rendre ces calories à la vapeur ? La théorie mécanique de la chaleur nous répond affirmativement. Lorsqu'on comprime de la vapeur saturée sans qu'il y ait de refroidissement, la pression augmente en même temps que la température. Il y a même *surchauffe* légère, car la température de la vapeur après compression est plus élevée que celle qui est indiquée par les tables comme correspondant à la pression obtenue.

Donc si l'on prend la vapeur à 60° formée sur l'eau, qu'on la comprime à 112, on peut la réintégrer dans l'appareil de chauffage pour obtenir une nouvelle quantité de vapeur, et cela indéfiniment.

Remarquons que l'eau condensée est à 112°, que si on la fait passer à travers un appareil refroidisseur, et que si le liquide qui produit le refroidissement est le même qui va être évaporé, ce liquide peut être porté à une température supérieure à 60°, de telle sorte qu'en entrant dans l'appareil il abandonne à l'état de vapeur toutes les calories qu'il

possède en plus de 60°. Comme la différence des chaleurs latentes des deux vapeurs est $564 - 528 = 36$, il suffit que l'eau ait 96° pour parfaire cette différence.

Donc, avec cette disposition, on peut dire que 1 kilogramme de vapeur comprimé peut vaporiser 1 kilogramme d'eau sans perte, la surchauffe de la vapeur au moment de la compression étant suffisante dans un appareil bien construit, pour couvrir le refroidissement par radiations.

Nous voici donc en présence d'un cycle parfait, la vapeur de chauffage abandonnant toutes ses calories pour produire la même quantité de vapeur qui sera comprimée pour redevenir vapeur de chauffage.

Il suffit donc pour obtenir une évaporation indéfinie, *sans source de chaleur extérieure*, c'est-à-dire sans brûler de combustible, de disposer d'une force motrice suffisante pour exécuter la compression de la vapeur. Dans ces conditions on aurait l'évaporation d'une quantité indéfinie de liquide ne coûtant que la force motrice. Et si cette force motrice est naturelle, comme une chute d'eau, l'évaporation est complètement gratuite.

C'est sur ce principe que Piccard a installé l'évaporation des eaux des salines en plusieurs points où l'eau était en abondance, tels qu'à Schœnebeck (Prusse), Bex (Suisse), Maixe (Meurthe-et-Moselle), Ebense (Autriche) et enfin à Salins-du-Salat près Toulouse, où l'on produit 200.000 quintaux de sel annuellement, avec huit turbines de 100 chevaux chacune, mues par une dérivation du Salat, avec une chute de 11^m,50 et un débit de 7 mètres cubes par seconde.

Nous sommes donc en présence d'un appareil essentiellement industriel, ayant fait largement ses preuves et qui fait l'honneur de son inventeur, M. Piccard.

Nous ne décrivons pas dans ses détails l'appareil Piccard quelque'intéressant qu'il soit, car il n'est pas dans notre sujet. Nous donnerons seulement la figure schématique qui le représente (fig. 136).

A est une chaudière close tubulaire. B l'espace intertubulaire. C la pompe de compression. La vapeur produite en A est comprimée par C et refoulée en B.

L'eau condensée passe par un serpentin plongé dans le réservoir S. Dans ce réservoir arrive le liquide à évaporer qui est réchauffé par l'eau condensée à la température voulue et rentre chaude dans la chaudière close.

Cette figure de principe est suffisante pour donner au sujet toute la clarté qu'il demande.

Weibel a voulu appliquer la compression aux appareils de sucrerie, et, en collaboration avec Piccard ils ont imaginé un dispositif, sous le

nom de *Weibel-Piccard* conjuguant le triple-effet avec la pompe à compression *mue par la vapeur*.

Les retours de la machine à vapeur étaient employés à faire bouillir le triple-effet, tandis que la pompe reprenait une partie de la vapeur du jus pour faire l'évaporation d'une autre quantité de liquide dans un appareil spécial. Ils ont essayé aussi de prendre la vapeur sur le premier corps pour la compresser en bas de ce même premier corps afin de

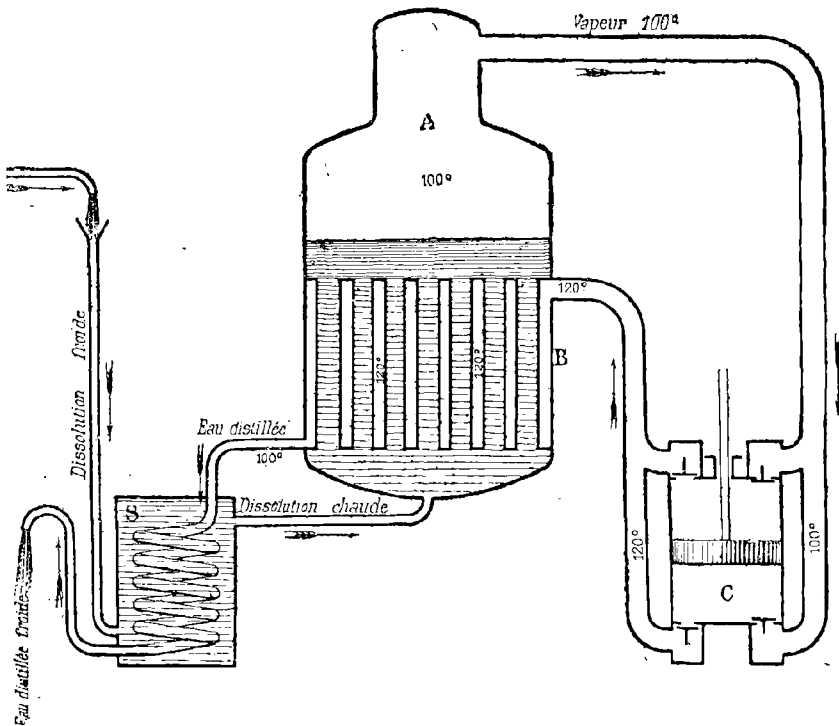


Fig. 136

faire le complément de vapeur nécessaire à l'évaporation d'une grande quantité de jus.

Ces essais n'ont pas eu de suite, sans doute parce que les inventeurs n'ont pas tenu assez compte de la grande quantité de vapeur dont disposait l'usine pour faire bouillir le triple-effet et que leur pompe de compression donnait un excès de vapeur que l'on perdait sur le toit, en sorte que toute l'économie du système était neutralisée par les conditions du travail en sucrerie.

Rillieux a été plus heureux avec la compression. En effet, à la su-

crerie de Kaharlike en Russie, se trouvait un compresseur sans emploi. Lexa l'a employé à reprendre une partie de la vapeur du deuxième ou du troisième corps du quadruple-effet pour la comprimer et faire le chauffage des jus dans des réchauffeurs pour lesquels on aurait dû employer la vapeur du premier corps, d'où économie réelle de combustible. Mais dans ce cas la quantité de vapeur comprimée était assez faible pour que l'échappement de la machine ne soit pas en excès sur la vapeur nécessaire au chauffage de l'appareil. Enfin on disposait du compresseur, on n'a pas dû l'acheter ; sans quoi le prix d'une telle machine n'aurait pas couvert l'économie qu'elle a rapportée.

Nous avons parlé du système Piccard, parce qu'il est plein d'enseignements pour le cas où se présenterait la construction d'une usine au bord d'une chute d'eau considérable.

Il est évident en effet, qu'avec une force motrice gratuite, une sucrerie doit pouvoir se passer d'une grande partie de ses générateurs. Il suffirait pour cela d'établir des compresseurs qui mettraient sous pression la vapeur qui se perd dans les condenseurs, et qui est actuellement absolument perdue. Une usine arrangée dans ces conditions brûlerait 45 kilogrammes de charbon au lieu de 80 et 100 que consomment nos bonnes usines actuelles, soit 20 à 25 % de moins qu'avec le sextuple-effet le mieux agencé !

Quelle force motrice faudra-t-il pour une sucrerie de 4.000 hectolitres, ou 300.000 kilogrammes de betteraves ? Cela variera complètement avec le montage adopté.

A Salins-du-Salat on emploie 100 chevaux pour comprimer 25.000 kilogrammes de vapeur par 24 heures. Donc dans notre usine on aurait besoin de 700 chevaux, encore que ce chiffre nous paraisse élevé, car le calcul thermo-dynamique nous donne beaucoup moins. Nous pourrions d'ailleurs en modifiant le montage descendre à 500 chevaux. On voit que le problème n'est pas irréalisable et donnerait de sérieux bénéfices.

Avis donc aux sucreries qui pourraient s'établir près d'une chute d'eau !

§ 14. — Incrustations des appareils d'évaporation.

Nous avons vu que la betterave contient des sels alcalins dont les acides les plus répandus sont : l'acide sulfurique, l'acide phosphorique, l'acide oxalique, l'acide silicique et les acides organiques.

Tous ces sels, traités par la chaux pendant la carbonatation, donnent des sels de chaux moins solubles dans l'eau que les sels alcalins, mais néanmoins plus solubles dans l'eau sucrée que dans l'eau pure.

De plus ces sels sont plus solubles dans l'eau sucrée étendue que dans le sirop. C'est vers 15 à 18° Baumé que le degré de solubilité diminue avec le plus de rapidité.

Enfin la solubilité de tous ces sels est différente. Les oxalates sont moins solubles que les sulfates dans le sirop concentré, et les silicates restent dissous plus longtemps que les autres.

Les carbonates et *organates* de chaux sont les moins solubles de tous dans le sirop, encore, pour ces derniers, y a-t-il une sélection à faire, les uns étant plus solubles que les autres, en sorte que les sels organiques de chaux occupent toute l'échelle de solubilité.

De tout ceci il résulte que lorsqu'on travaille un jus sucré, après l'épuration calcique il reste en solution presque tous les sels de la betterave à l'état de sels de chaux, sauf quelques sels organiques, pectiques et autres tout à fait insolubles.

Lorsque l'on concentre ensuite ce jus filtré, au fur et à mesure que le degré Baumé augmente, le degré de solubilité de ces sels diminue et les matières insolubles se précipitent successivement, en commençant par les carbonates et oxalates et finissant par les silicates, le tout panaché d'organates de chaux indéterminés qui se déposent depuis le commencement jusqu'à la fin de la concentration.

Il y a encore d'autres sels qui existent dans le jus et qui ne proviennent pas de la betterave. Ce sont ceux amenés par l'eau de la diffusion et par la chaux.

L'eau de diffusion apporte souvent des sulfates, et la chaux donne surtout des silicates et aluminates.

Enfin nous avons rencontré dans les usines où les jus sont sulfités des dépôts parfois abondants de sulfite de chaux qui se font dès le début de l'évaporation.

La plupart de ces sels se déposent pendant l'évaporation en se collant sur la paroi chauffante, et y formant une incrustation solide et d'autant plus dure que la texture du sel lui-même est plus difficilement attaquable à l'outil.

Ainsi les sels organiques de chaux, les carbonates, voire même les phosphates, donnent une couche assez facilement attaquable par une lame d'acier, tandis que les silicates forment un enduit vitreux sur lequel glissent tous les couteaux les plus affilés.

Les carbonates, organates, oxalates se précipitent en couches épaisses et poreuses, les sulfates et phosphates en couches cristallines assez minces; les dépôts de silicates se présentent au contraire en couches parfois imperceptibles formant un véritable vernis sur les parois chauffantes, tellement qu'on ne les aperçoit pas tout d'abord.

L'inconvénient principal de ces dépôts est leur manque de conductibilité pour la chaleur. En sorte qu'un appareil *incrusté* travaille très mal, les calories de la vapeur de chauffage les traversant très lentement.

Les dépôts spongieux, sur faible épaisseur, ne diminuent presque pas la conductibilité du métal, tandis que ceux qui sont cristallins, comme les sulfates, annihilent rapidement la condensation; enfin il suffit d'une épaisseur de silicate pas plus forte que celle d'une feuille de papier, pour arrêter complètement une évaporation.

Chaque usine, chaque contrée, voire même chaque champ de betterave, fournit son genre spécial d'incrustation des appareils. Tel appareil s'incruste toujours en carbonate ou organate, tel autre se recouvre de sulfate, et tel autre encore, heureusement peu nombreux, s'incruste de silicate.

Il n'y a donc pas de règle générale sous ce rapport, et dans une même usine l'incrustation varie d'une année à l'autre, et encore du commencement de la fabrication à la fin. En général les premières betteraves, très peu mûres, couvrent les appareils d'organates de chaux ainsi que celles qui viennent en fin de fabrication poussées et avariées, et dans le courant de novembre le travail d'évaporation est toujours bien meilleur.

Outre l'inconvénient du manque de conductibilité du dépôt pour la chaleur, il y en a un autre non moins grave.

Lorsque le dépôt a commencé à se faire sur les tubes, est *amorcé*, il se continue avec une vitesse d'autant plus grande que la couche est plus épaisse. Il y a une sorte d'attraction moléculaire entre le dépôt et le sel existant dans le jus, et une action de masse qui accentue la rapidité avec laquelle le sel se sépare du jus.

Bouvier a si bien constaté le fait, qu'il a imaginé de placer dans les caisses de triple-effet des masses de paille de fer sur lesquelles il avait précipité au préalable différents sels, sulfates ou carbonates de chaux, et sur ces masses les sulfates et les carbonates se précipitaient en abondance avant même que les surfaces chauffantes commençassent à se salir. Et le dépôt était tellement abondant que les pailles de fer ressemblaient bientôt à de véritables blocs de pierre de même nature que le dépôt primitif fait dessus, sulfate ou carbonate. Il arrivait ainsi à préserver ses surfaces de chauffe contre l'incrustation.

Donc, si un appareil tubulaire n'est pas nettoyé à temps, l'intérieur de ses tubes va se recouvrir d'une couche épaisse de dépôt, jusqu'à ce que le pouvoir évaporatoire soit annihilé.

Lorsque l'incrustation est formée de calcaire et d'organate de chaux, corps extrêmement spongieux, elle peut arriver à des épaisseurs très

grandes, de plusieurs millimètres, mais, tandis que cette formation est lente au début, elle devient de plus en plus rapide au fur et à mesure que l'épaisseur augmente.

Mais alors que se passe-t-il dans le jus ?

Le premier effet est une épuration réelle du jus et du sirop. Son coefficient de pureté augmente, puisque le poids des sels diminue.

Seulement arrive un moment où, l'évaporation allant moins vite, le sirop reste plus longtemps en contact avec les surfaces incrustées, sa concentration allant moins vite. Il dort dans les caisses où il bouillotte sans cesse, surtout dans la caisse à sirop d'où on ne le tire qu'à la concentration voulue.

Cette ébullition soutenue favorise le dépôt, mais elle favorise aussi les décompositions, et il se passe entre le sirop et l'incrustation des phénomènes de redissolution et de reprécipitation qui changent la nature du sirop, diminuent son alcalinité, le fait rougir, en lui donnant une teinte particulière fort désagréable à voir. Il y a plus encore. Ces incrustations épaisses donnent, dans la dernière caisse, le champ libre aux décompositions internes. Le sirop qui ne se renouvelle pas dans ce corps spongieux, porté longtemps à une température de 60° au maximum, se décompose, fermente même, et j'ai trouvé dans des couches un peu épaisses des formations verdâtres indiquant la présence bien caractérisée de centres de fermentation. Par conséquent les jus, et surtout les sirops, en présence d'incrustations épaisses, s'altèrent par décomposition et par fermentation, tellement que le degré d'alcalinité finit par devenir 0, l'acidité même se présente, et le degré de pureté diminue. Enfin ces sirops rouges et acides se cuisent très mal dans les appareils.

Quels remèdes apporter à cet état de chose ?

Le plus simple serait de ne pas laisser incruster trop les appareils, et c'est ce que l'on fait généralement en France, lorsque l'on arrête tous les dimanches matin pour gratter les tubes, ou tout au moins tous les quinze jours.

Mais dans certains pays comme l'Autriche et la Russie, les fabricants ont une peur exagérée des arrêts. Ils calculent la perte argent que leur procure la suspension du travail pendant douze heures ou vingt-quatre heures, sans examiner s'ils ne perdent pas davantage en sucre et en longueur de fabrication à ne pas nettoyer leur usine de temps en temps.

Filtration entre caisses. — Que faire alors ? Y a-t-il un moyen d'empêcher au moins partiellement les incrustations ?

Sans parler du système Bouvier que nous venons de citer, avec ses pailles de fer amorcées, système qui peut-être donnera un jour des résul-

tats inattendus, il y a un moyen d'atténuer ces dépôts, mais non de les empêcher complètement, c'est la filtration.

Lorsque l'on examine les jus et sirops dans les caisses d'un appareil d'évaporation, on les trouve toujours louches, et d'autant plus que l'on approche davantage de 15 à 18° Baumé. Ce louche est l'indice de précipitations, et ces matières en suspension sont celles qui vont se coller tout à l'heure sur les tubes. Il y a donc grand intérêt à les enlever.

Il y a longtemps déjà, le constructeur Piedbœuf avait fait la même remarque, et avait indiqué de mettre entre chaque caisse, sur le parcours du jus, un filtre à noir pour purifier ces jus. Malheureusement Piedbœuf ne se doutait pas de l'importance des dépôts qu'il allait recueillir, et il fit ses filtres trop petits, si bien qu'au lieu de les augmenter on les supprima, car ils devenaient une gêne pour le travail.

Pour n'avoir pas suivi cette idée salutaire jusqu'au bout, et aussi parce que l'on ne connaissait pas alors la filtration mécanique sur toile, l'épuration des jus entre les caisses fut abandonnée, et ce progrès réel se trouva retardé d'un nombre d'années considérable. Aujourd'hui on y revient, mais lentement.

Depuis quelques années on filtre les sirops entre l'avant-dernière caisse et la dernière, et l'on s'en trouve bien ; car c'est la dernière caisse qui se couvre de la majeure partie des incrustations ordinairement, et cette filtration la garantit considérablement.

Pour faire cette filtration on est obligé de pomper le sirop dans l'avant-dernière caisse, de l'envoyer dans un bac, de le réchauffer, de le filtrer, et c'est ce sirop clair qui sert à l'alimentation de la caisse à sirop.

Mais dans un triple-effet ce sirop du deuxième corps n'est guère qu'à 12 ou 13° Baumé, dans un quadruple-effet à 14° B., ce n'est pas suffisant.

Aussi, en Autriche, avec les caisses horizontales, a-t-on imaginé de séparer en deux l'espace du jus par une cloison verticale, et d'extraire par une pompe le sirop de l'un de ces espaces pour le filtrer et le réintégrer dans le second compartiment où il finit sa concentration. On peut ainsi filtrer à 16 ou 18° Baumé, ce qui est le point réel.

Dans les installations qui le permettent, on compose parfois le dernier corps avec deux caisses, et l'on filtre entre les deux.

De toute manière les fabricants qui agissent ainsi peuvent prolonger plus longtemps le travail de leurs appareils sans les nettoyer.

Il y a quelques années la Maison Breitfeld-Danek de Prague imagina de construire son filtre mécanique de telle façon qu'il fût complètement clos.

Alors la filtration entre les corps devenait très simple. Au lieu d'une installation de pompes, bacs, réchauffeurs, etc., qui est dispendieuse et

cause des pertes de sucre inévitables, sans compter les embarras qu'une pompe donne toujours en fabrication, on place un filtre clos entre les deux derniers corps. Le sirop traverse ce filtre en passant de l'une à l'autre par la simple différence du vide, et l'on supprime ainsi tout embarras. C'est l'idée de Piedbœuf rendue pratique.

Il faut deux filtres, un en vidange et l'autre en travail; seulement il les faut suffisamment grands, tellement que, dans les installations un peu considérables, ce n'est pas deux filtres seulement que l'on a, mais une batterie de filtres clos répondant à la quantité de sirop que l'on doit leur faire traverser.

Ce système de filtration est essentiellement pratique et devrait être généralisé. Et cependant combien peu l'adoptent!

Philippe a construit aussi un filtre clos (fig. 137) pour le même usage, et il s'est fait le grand propagateur du système, et il faut lui en savoir gré.

Son filtre, semblable à ceux de sa construction par l'ensemble, a des avantages réels sur le Danek.

On voit couler le liquide par chaque ajutage, chacun étant muni d'un tube de verre qui permet de s'assurer de la qualité du coulage et d'isoler les toiles percées.

De plus, grâce à un appel d'air qu'il a eu l'idée de ménager sur sa chambre de coulage, le filtre est toujours plein et fonctionne sans cesse correctement.

Enfin Philippe a fait une sélection telle des toiles à filtrer que le rendement de son appareil en est fortement accru.

Rien n'est donc plus simple aux fabricants de faire cette filtration salubre sans embarras et sans ennui puisqu'il existe des appareils qui le lui permettent. J'ajouterai même qu'ils devraient la faire entre chaque corps de leurs appareils, persuadé que dans ces conditions les incrustations seraient tellement diminuées que l'usine pourrait travailler un long temps sans arrêter pour le nettoyage.

Dans les grandes sucreries nous nous sommes trouvés en présence d'une difficulté pour filtrer les sirops entre les caisses, à cause de la grande quantité de filtres nécessaires. Comment les accoupler pour qu'ils travaillent tous de même manière? Philippe a tourné heureusement la difficulté avec l'installation suivante :

Le sirop, au lieu de couler directement à travers les filtres sous l'influence de la différence de vide, est aspiré dans une sorte de colonne barométrique terminée en haut par un vaste réservoir. La hauteur à laquelle se tient le sirop dans la colonne est égale à la différence de vide entre deux caisses consécutives, augmentée de la hauteur de sirop dans

es caisses. C'est à cette hauteur que l'on place la partie médiane dudit réservoir, lequel porte un tube de niveau pour suivre le mouvement du sirop. On est donc en présence d'un réservoir de sirop en charge sur le sirop de la caisse dans laquelle on veut faire entrer le sirop filtré. Si donc on place une batterie de filtres entre le réservoir et cette caisse, le

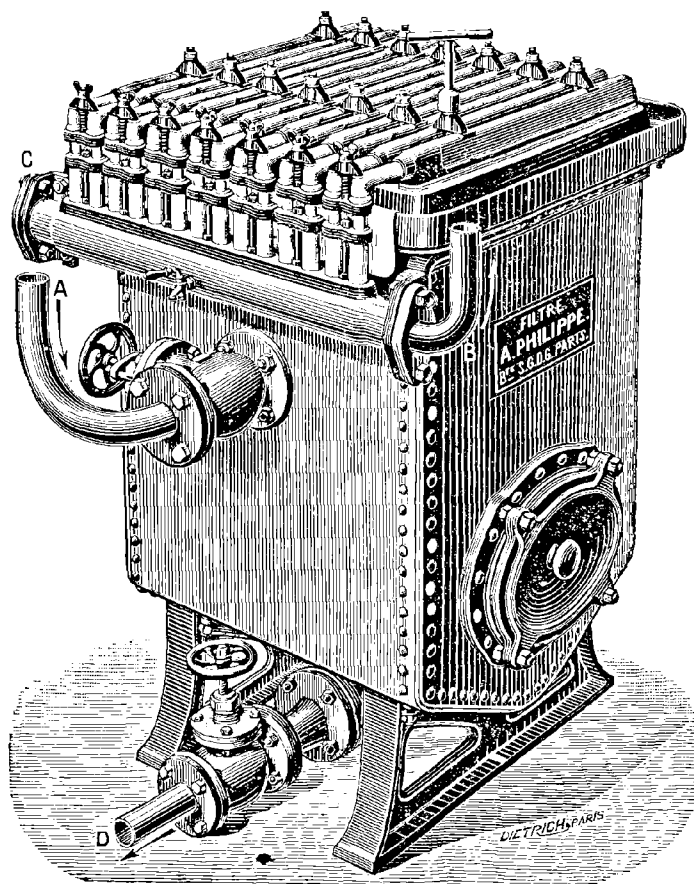


Fig. 137.

filtre étant dans le vide de la caisse, le sirop traversera les filtres comme s'ils travaillaient à l'air libre.

Cette disposition qui a été adoptée en Égypte pour une batterie de huit filtres marche admirablement et résout un problème des plus intéressants.

Nettoyage des caisses. — Mais lorsque l'appareil est sali, il faut le nettoyer. Lorsque le dépôt est calcaire, rien de plus simple. Il suffit de l'emplir d'eau acidulée avec l'acide chlorhydrique, de faire bouillir, de rincer ensuite à l'eau ordinaire. Si le dépôt n'est pas trop épais il se détachera de lui-même.

Si l'incrustation est en couches épaisses et cristallines, calcaire mélangé de dépôts organiques, avec un peu de sulfate, comme c'est le cas le plus général, l'acide ne suffit pas. Il faut gratter d'abord les tubes, et passer ensuite à l'acide.

Lorsque malheureusement la silice se montre abondante, mais mélangée à d'autres substances, l'acide est sans action. Il faut alors procéder à une ébullition à l'eau alcalinisée par la soude caustique, puis à l'eau acidulée et enfin à l'eau pure.

Mais si la silice se présente presque seule dans les dépôts, alors les grattages sont impossibles tant la couche est dure. L'ébullition alcaline s'impose, précédée d'une ébullition à l'acide qui enlève une partie de la chaux combinée à la silice, et parfois suivie d'une seconde ébullition acide. Ensuite il faut gratter. La silice isolée s'enlève alors partiellement à l'état de poussière. Il faut laver ensuite de nouveau à l'alcali et à l'acide.

Le dépôt où la silice domine est le plus à craindre de tous comme on le voit. On doit donc, quand on a constaté le fait une fois, prendre toutes les précautions nécessaires pour l'éviter. S'il provient de l'eau de la diffusion ou de la chaux, il faut faire le nécessaire pour les changer. Si c'est la nature de la betterave qui en est cause, on doit filtrer énergiquement, travailler en laissant le moins de chaux possible dans les jus, alcaliniser même par le carbonate de soude ou traiter les jus par un peu de baryte, car la silice est l'ennemie intime de l'évaporation et se retrouve même dans la cuite dont elle recouvre aussi les serpentins.

Heureusement cet élément est rare en sucrerie, mais se manifeste quelquefois au moment où l'on s'y attend le moins, pour ne plus réparaître, lorsque certaines qualités de betteraves se rencontrent dans les tas.

L'eau acidulée que l'on emploie varie dans sa teneur en acide chlorhydrique suivant les cas. On peut mettre dans les appareils de 2 à 5 kilogrammes d'acide du commerce par hectolitre d'eau. Cela dépend de l'épaisseur et de la nature du dépôt, suivant qu'on veut rincer ou attaquer énergiquement l'incrustation.

Comme la tôle ou la fonte, qui forment la calandre de l'appareil, est attaquée par l'acide, il y a en même temps que l'acide carbonique dégagement d'hydrogène, et parfois formation de mélanges détonants. Il

faut donc faire bien attention de ne pas approcher de corps enflammé des appareils au moment où on les ouvre après nettoyage sous peine d'explosion et d'accidents possibles.

La soude doit être aussi caustique que possible. On peut mettre 3 kilogrammes de soude caustique par hectolitre d'eau.

Il faut se méfier de la soude qui attaque vite les cuivres au contact de l'air. Pendant l'ébullition, après que l'air a été chassé de l'eau et de l'appareil, le danger n'est presque plus à craindre.

Si l'on n'a pas de soude caustique, on emploie du carbonate de soude que l'on a eu soin de traiter au préalable par la chaux. On dissout le carbonate de soude dans l'eau, et pour 100 kilogrammes de carbonate on ajoute 30 kilogrammes de chaux. Le liquide clair correspond à 28 kilogrammes de soude NaO, HO .

Nous ne préconisons aucune espèce de grattoirs. Il y en a tant d'espèces diverses que le fabricant n'a que l'embarras du choix. Seulement il faut éviter que le ressort soit trop dur pour ne pas trop entamer le cuivre des tubes. C'est la seule recommandation à faire.

§ 15. — Tables de vapeur

Nous terminerons cet exposé en donnant les tables qui nous ont servi pour tous nos calculs.

TABLEAUX

DONNANT LA TENSION DE LA VAPEUR D'EAU A DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES D'APRÈS GAY-LUSSAC,
AVEC LES CORRECTIONS APPORTÉES PAR REGNAULT

TEMPÉRATURES	TENSION OU FORCE ÉLASTIQUE			DENSITÉ celle de l'eau liquide à 0° étant 1	VOLUME de 1 kil. de vapeur en litres
	GAY-LUSSAC		REGNAULT		
	en cent. de mercure	en atmosphères	en cent. de mercure		
15°	1,2837		1,2699	0,000013	77008
16			1,3536		
17			1,4421		
18			1,5357		
19			1,6346		
20	1,7314	0,028	1,7391	0,000017	58224
21			1,8495		
22			1,9659		
23			2,0888		
24			2,2184		
25	2,3090		2,3550	0,000022	44411
26			2,4988		
27			2,5505		
28			2,8101		
29			2,9782		
30	3,0643	0,042	3,1548	0,000029	34041
31			3,3406		
32			3,5359		
33			3,7411		
34			3,9565		
35	4,0404		4,1827	0,000038	26253
36			4,4201		
37			4,6691		
38	4,7579	0,0626	4,9302	0,000044	22513
39			5,2039		
40	5,2998	0,072	5,4906	0,000049	20347
41			5,7910		
42			6,1065		
43			6,4346		
44			6,7790		
45	6		7,1391	0,000063	15938
46			7,5158		
47			7,9093		
48			8,3204		
49			8,7499		
50	8,8742	0,121	9,1982	0,000079	12546
51	9,3301	0,123	9,9661	0,000083	11971
52			10,1543		
53			10,6636		
54			11,1945		
55	11,3710		11,7478	0,000100	9946
56			12,3244		
57			12,9251		
58			13,5505		
59			14,2015		
60	14,4660	0,196	14,8791	0,000126	7937
61			15,5839		
62			16,3170		
63			17,0791		
64			17,8714		
65	18,2710		18,6945	0,000157	6382
66	19,1270	0,252	19,5496	0,000163	6114

TEMPÉRATURES	TENSION OU FORCE ÉLASTIQUE			DENSITÉ celle de l'eau liquide à 0° étant 1	VOLUME de 1 kil. de vapeur en litres
	GAY-LUSSAC		REGNAULT		
	en cent. de mercure	on atmosphères	en cent. de mercure		
67°			20,4376		
68			21,3596		
69			22,3165		
70	22,9070	0,306	23,3093	0,000193	5167
71			24,3393		
72			25,4073		
73			26,5147		
74			27,6624		
75	28,507		28,8516	0,000238	4204
76			30,0838		
77			31,3600		
78			32,6811		
79			34,0488		
80	35,208	0,466	35,4643	0,000289	3462
81			36,9287		
82	38,238	0,503	38,4435	0,000312	3206
83			40,0101		
84			41,6298		
85	43,171		43,3041	0,000349	2864
86			45,0344		
87			46,8221		
88			48,6687		
89			50,5759		
90	52,528	0,691	52,5450	0,000419	2387
91			54,5778		
92	56,695	0,746	56,6757	0,000449	2224
93			58,8406		
94			61,0740		
95	63,427		63,3778	0,000499	2005
96			65,7535		
97			68,2029		
98			70,72-0		
99			73,3305		
100	76,000	1,000	76,0000	0,000589	1696
101			78,7590		
102			81,6010		
103			84,5280		
104			87,5410		
105			90,6410		
106		1,235	93,8310		
106,6	95,000	1,25		0,000724	1381
107			97,1140		
108			100,4910		
109			103,565		
110		1,415	107,537		1257
111			111,209		
112			114,983		
112,4	114,000	1,50		0,000855	1169
113			118,861		
114			122,847		
115			126,941		
116			131,147		
117			135,466		
117,11	133,000	1,75		0,000983	1014
118			139,902		
119			144,455		

TEMPÉRATURES	TENSION OU FORCE ÉLASTIQUE			DENSITÉ celle de l'eau liquide à 0° étant 1	VOLUME de 1 kil. de de vapeur en litres
	GAY-LUSSAC		REGNAULT		
	en cent. de mercure	en atmosphères	en cent. de mercure		
120			149,128		
121			153,925		
121,55	152,000	2,00		0,001116	896
122			158,847		
123			163,896		
124			169,076		
125			174,388		
125,5	171,000	2,25		0,001233	806
126			179,835		
127			185,420		
128			191,147		
128,85	190,000	2,50		0,001366	732
129			197,015		
130			203,028		
131			209,194		
132			215,503		
132,15	209,000	2,75		0,001490	671
133			221,969		
134			228,592		
135	928,000	3,00	235,373	0,001614	619
137,7	247,000	3,25		0,001737	576
140,35	266,000	3,50		0,001859	538
142,70	285,000	3,75		0,001980	505
144,95	304,000	4,00		0,002100	476
146,76	323,000	4,25		0,002227	449
149,15	342,000	4,50		0,002339	428
151,15	361,000	4,75		0,002457	407
153,30	380,000	5,00		0,002573	389
160,00	456,000	6,00	465,162	0,003046	328
166,42	532,000	7,00		0,003494	286
172,13	608,000	8,00		0,003941	254

Tableau relatif aux vapeurs saturées par Zeuner

TENSION ABSOLUE de la vapeur p		TEMPÉRA-TURE t en degrés cen-tigrades	CHALEUR TOTALE $\lambda = q + r + Apu$			$u = S - \sigma$	DENSITÉ $\gamma =$ Poids du mètre cube de vapeur en kilogrammes
en atmosphères de 760mm de mercure	en kilogrammes par mètre carré		Chaleur contenue dans le liquide = q	Chaleur de vaporisation r			
				Chaleur latente intérieure r	Chaleur latente extérieure Apu		
en calories par kilogramme							
0,1	4033	46,2	46,282	538,848	35,464	14,5508	0,0687
0,2	2067	60,5	60,589	527,584	36,764	7,5421	0,1326
0,3	3100	69,5	69,687	520,433	37,574	5,1388	0,1945
0,4	4133	76,3	76,499	515,086	38,171	3,9154	0,2553
0,5	5167	81,7	82,017	510,767	38,637	3,1705	0,3153
0,6	6200	86,3	86,662	507,121	39,045	2,6700	0,3744
0,7	7234	90,3	90,704	503,957	39,387	2,3086	0,4330
0,8	8267	93,9	94,304	501,141	39,688	2,0355	0,4910
0,9	9300	97,1	97,543	498,610	39,957	1,8216	0,5487
1,0	10334	100,0	100,500	496,300	40,200	1,6194	0,6059
1,1	11367	102,7	103,216	494,180	43,421	1,5077	0,6628
1,2	12400	105,2	105,710	492,210	40,626	1,3891	0,7194
1,3	13434	107,5	108,104	490,367	40,816	1,2882	0,7757
1,4	14467	109,7	110,316	488,643	40,993	1,2014	0,8317
1,5	15501	111,7	112,408	487,014	41,159	1,1258	0,8874
1,6	16534	113,7	114,389	485,471	41,315	1,0595	0,9430
1,7	17568	115,5	116,269	484,008	41,463	1,0007	0,9983
1,8	18601	117,3	118,059	482,616	41,602	0,9483	1,0534
1,9	19635	119,0	119,779	481,279	41,734	0,9012	1,1084
2,0	20668	120,6	121,417	480,005	41,861	0,8588	1,1631
2,2	22734	123,6	124,513	477,601	42,096	0,7851	1,2721
2,5	25835	127,8	128,753	474,310	42,416	0,6961	1,4345
2,7	27901	130,4	131,354	472,293	42,610	0,6475	1,5420
3,0	31002	133,9	134,989	469,477	42,876	0,5864	1,7024
3,2	33068	136,1	137,247	467,729	43,040	0,5518	1,8088
3,5	36169	139,2	140,438	455,261	43,269	0,5072	1,9676
3,7	38236	141,2	142,453	453,703	43,413	0,4814	2,0729
4,0	41336	144,0	145,310	461,496	43,614	0,4474	2,2303
4,2	43403	145,8	147,114	460,104	43,739	0,4273	2,3349
4,5	46503	148,3	149,708	458,103	43,918	0,4004	2,4911
4,7	48570	150,0	151,360	456,829	43,030	0,3844	2,5949
5,0	51670	152,2	153,741	454,994	44,192	0,3626	2,7500
5,2	53737	153,7	155,262	453,823	44,293	0,3495	2,8531
5,5	56837	155,8	157,471	452,123	44,441	0,3315	3,0073
5,7	58904	157,2	158,880	451,039	44,533	0,3205	3,1093
6,0	62014	159,3	160,938	449,457	44,667	0,3054	3,2632
6,2	64071	160,5	162,255	448,414	44,753	0,2962	3,3652
6,5	67171	162,4	164,181	446,965	44,876	0,2833	3,5178
6,7	69238	163,6	165,428	446,008	44,956	0,2753	3,6192
7,0	72338	165,3	167,243	444,616	45,070	0,2642	3,7711
7,5	77505	168,1	170,142	442,393	45,250	0,2475	4,0234
8,0	82672	170,8	172,888	440,289	45,420	0,2329	4,2745
8,5	87839	173,4	175,514	438,280	45,578	0,2200	4,5248
9,0	93006	175,8	178,017	436,366	45,727	0,2085	4,7741
9,5	98173	178,1	180,408	434,539	45,868	0,1981	5,0226
10,0	103340	180,3	182,719	432,775	46,001	0,1887	5,2704
10,5	108507	182,4	184,927	431,090	46,127	0,1802	5,5174
11,0	113674	184,5	187,065	429,460	46,247	0,1725	5,7636
11,5	118841	186,5	189,131	427,886	46,362	0,1654	6,0092
12,0	124008	188,4	191,126	426,368	46,471	0,1589	6,2543
12,5	129175	190,3	193,060	424,896	46,576	0,1529	6,4986
13,0	134342	192,1	194,944	423,465	46,676	0,1473	6,7424
13,5	139509	193,8	196,766	422,080	46,772	0,1421	6,9857
14,0	144676	195,5	198,537	420,736	46,864	0,1373	7,2283

§ 16. — Appareils divers

On a tenté bien souvent de changer la forme des appareils d'évaporation, surtout pour obtenir le ruissellement d'une façon pratique.

Citons entre autres l'appareil de *Gorz* (fig. 138-139) qui participe des deux systèmes. Ces caisses sont horizontales avec un faisceau tubulaire dans le bas baignant dans le jus, mais sur une très faible épaisseur. A mi-hauteur de la caisse se trouve un second faisceau tubulaire séparé totalement du premier, et sur lequel le jus est projeté en pluie fine par des tuyaux percés de trous.

Nous avons aussi une seconde incarnation de l'appareil *Lillie*, horizontale également, composée de caisses remplies de tubes avec projection de jus sur les tubes au moyen de plaques perforées. Cet appareil

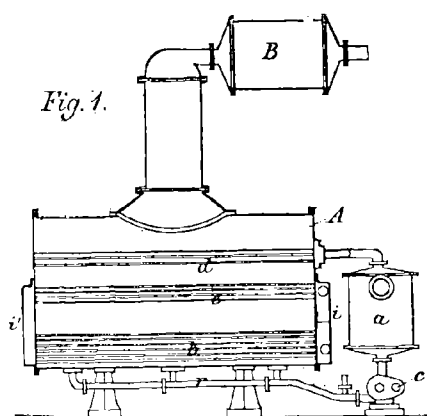


Fig. 138.

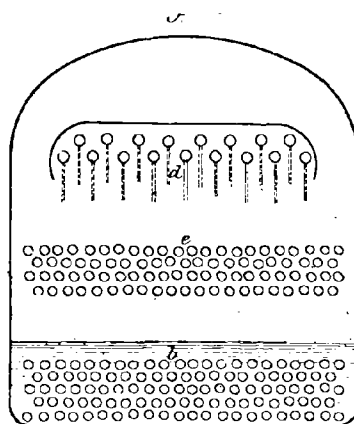


Fig. 139.

comporte une disposition intéressante. La vapeur pénètre dans les tubes par une extrémité et l'eau condensée sort par la même extrémité, car les tubes sont bouchés à l'autre. Seulement le bouchon est percé d'un très petit trou pour faire appel et laisser échapper les gaz non condensables.

Nous pourrions citer bien d'autres dispositions, mais nous croyons que celles-ci ont seules survécu.

Nous devons nous arrêter un instant sur une installation spéciale de l'alimentation des jus qui a fait beaucoup de bruit à un certain moment, et qui est due à Chappman. Le jus arrive d'une caisse à l'autre par en bas, remonte dans les tubes et sort par le tube central qui se continue en dehors de la caisse, au moyen d'un calfat, par un long tube faisant

syphon et rentrant dans le bas de la caisse suivante. En donnant à ce syphon une longueur proportionnelle au vide existant dans la caisse suivante, l'alimentation est continue et automatique, et il n'y a dans les caisses que juste la quantité de jus nécessaire pour la marche normale de l'appareil.

Le moyen est élégant, mais ne permet pas de variation dans le régime de l'appareil d'évaporation. Seulement l'inventeur espérait obtenir des rendements extraordinaires par son procédé. Il ne donne pas plus que celui que l'on obtient en tenant les niveaux bas dans les caisses, et demande une grande fixité dans la marche, ce qui n'est le cas que des grandes usines, encore lorsque les jus sont de qualité constante, et que l'on entretient les surfaces propres sans trop d'incrustations, sans quoi il faudrait pouvoir faire varier la hauteur des syphons ce qui devient très compliqué, ou alors adopter une longueur moyenne qui ne remplit qu'imparfaitement le but. Le mieux est d'avoir entre chaque caisse des appareils à flotteur qui règlent les robinets, et dont il existe plusieurs modèles.

§ 7. — Entraînement du sucre dans les vapeurs des appareils d'évaporation

Nous avons vu précédemment que les vapeurs qui s'échappent des jus sucrés sont sucrées. Nous avons fait remarquer aussi que plus le liquide contient de sucre en dissolution, plus la vapeur en contient elle-même, le sirop dans le dernier corps de l'appareil donnant des vapeurs plus chargées de saccharose que le jus du premier corps. Nous avons expliqué aussi le mécanisme de ces entraînements par l'état vésiculaire de la vapeur dont l'enveloppe est constituée par le liquide d'où elle provient. Enfin, nous avons montré que l'état de viscosité des liquides est la cause de ces entraînements et que ceux-ci seront d'autant plus grands que le liquide sera plus visqueux. Un plus grand vide produit aussi plus d'entraînements.

Nous avons donné, comme moyen d'éviter les entraînements, les ralentisseurs, et nous avons indiqué ce qui se passe dans ceux-ci quand on les charge de matières plus ou moins perméables comme la fibre de bois et la paille de fer.

Il y a, en outre, une autre espèce d'entraînement, absolument mécanique celui-là, celui qui provient de gouttelettes de jus enlevées par le courant de vapeur. Il suffit pour celles-là d'un obstacle quelconque pour les arrêter, encore ce qui est préférable est-il d'avoir des calandres assez hautes pour les éviter.

Quand les appareils sont bas, verticaux ou horizontaux, on arrête

facilement ces gouttelettes, ou projections violentes de liquide, par une simple chicane placée à une certaine hauteur au-dessus de la surface du jus. Dans les appareils verticaux on leur donne la forme d'un parachute renversé, laissant tout autour un espace suffisant pour le passage de la vapeur avec une vitesse de 10 mètres environ, et au centre une ouverture pour permettre l'écoulement des liquides qui pourraient se former au-dessus. Cette chicane est en tôle très solidement reliée aux parois par de fortes équerrres. Les projections s'arrêtent contre cet obstacle et ne vont pas au delà.

Reste donc la vapeur vésiculaire qui va s'arrêter dans les ralentisseurs.

On a cherché quelle était la valeur du sucre entraîné lorsque les ralentisseurs ne fonctionnent pas, comme autrefois avec les anciens vases de sûreté qui ne servaient à rien.

Beudet a fait des expériences caractéristiques sur ce point, et il s'est servi justement de la paille de fer pour arrêter les vésicules sucrées, constatant qu'au sortir de cette sorte de filtre, la vapeur ne contenait plus du tout de sucre.

Il est donc possible de ne pas perdre de sucre pendant l'évaporation en s'outillant convenablement. Le fait est que plusieurs fabricants nous ont confirmé qu'avec des ralentisseurs bien établis, sans paille de fer, la perte de sucre était nulle.

Quelle est donc la valeur de cette perte avec des appareils anciens, et leurs vases de sûreté dont l'effet était nul ?

Nous avons sur ce point, quelques renseignements. Battut, dans de nombreux essais, a trouvé 0^k,478 pour 100 kilogrammes de betteraves, avec un maximum de 0^k,254, comme moyenne. Mais individuellement il a éprouvé une fois une perte de 4^k,240 qui a été le maximum de toutes ses expériences. Dans la cuite les entraînements sont plus considérables, mais ne représentent guère que 10 grammes. Dans les bas produits les ralentisseurs contiennent plus de sucre encore, mais aux 100 kilogrammes de betteraves la perte est généralement minime.

En totalisant toutes les pertes Battut a trouvé, pour plusieurs campagnes, une moyenne de 0^k,422 par 100 kilogrammes de betteraves, ce qui ferait, pour 300.000 kilogrammes, 1.266 kilogrammes de sucre par jour ! Dans tous ces essais Battut a retrouvé 96,8 % du sucre entraîné retenu dans les ralentisseurs, en sorte que la perte réelle ne serait plus que de 40^k,512 par jour. Ce chiffre déjà très bas peut se réduire, avonous dit, à 0 ou traces en employant des appareils plus puissants.

Lalo a obtenu des chiffres presque identiques pour de la betterave saine. Mais il fait observer que les pertes augmentent au fur et à mesure

que la fabrication s'avance, et de 0^e,440 il passe, en fin d'une fabrication qui se prolongeait en janvier, à 1^e,86 ! Il fait remarquer, avec justesse, que dans ces calculs et expériences il faut bien prendre note de la nature de la betterave. Ce qui prouve que certaines années les pertes peuvent être nulles, tandis qu'elles seront considérables certaines autres, sans avoir rien modifié aux appareils.

LIVRE HUITIÈME

Travail de la masse cuite.

CHAPITRE PREMIER

CUITE EN GRAINS

§ 1. — Généralités.

Les sirops en sortant de l'appareil d'évaporation, après avoir été soigneusement filtrés, sont reçus dans les bacs d'attente qui précèdent la chaudière à cuire en grains.

La qualité de la masse cuite est absolument variable avec les pays et les procédés employés soit pour l'obtention du sirop, soit pour faire la cuite elle-même.

Quand nous avons publié notre premier *Traité de fabrication du sucre*, c'était avant 1884. Or, à cette date, la législation sucrière en France a changé complètement, l'impôt se percevant sur la betterave et non plus sur le sucre comme auparavant. Il en est résulté une modification radicale dans la nature de la betterave et aussi dans celle de la masse cuite, modification telle que tout ce que nous considérons comme parfait en 1882 est absolument médiocre aujourd'hui.

Ainsi nous donnions comme composition moyenne des masses cuites, d'après Leluy les chiffres suivants pour différents départements.

	OISE	AINES	AINES
Sucre	81.00	82.50	82.00
Eau	9.60	8.20	10.10
Cendres	4.90	5.00	4.87
Matières organiques	4.50	4.30	3.08
Coefficient salin	16.53	16.50	16.83

Or voici quelques analyses données par Gallois et Dupont provenant de masses cuites de la campagne 1887-88, par conséquent trois ans après la promulgation de la nouvelle loi.

	AISNE	OISE	SEINE-ET-OISE	SOMME
Sucre	86.90	85.80	84.70	85.65
Eau	6.60	5.58	5.55	5.80
Condros	2.50	2.79	3.05	2.81
Matières organiques	4.00	5.83	6.70	5.74
Coefficient salin	33.43	30.78	27.70	30.48

Ce sont d'ailleurs de très bonnes masses cuites, car nous extrayons du *Traité de la fabrication du sucre* de Beudet-Pellet et Saillard (1894) les quelques analyses qui suivent et qui sont loin d'être aussi favorables que les précédentes.

Sucre.	85.54	84.67	82.86	85.20	86.90	82.16	87.81
Eau	5.51	5.21	5.80	4.35	5.54	5.61	4.15
Condros	2.98	3.14	3.46	2.94	2.74	3.92	2.88
Matières organiques	5.97	6.71	7.88	7.51	4.82	8.31	5.16
Coefficient salin	28.70	26.96	23.90	28.90	31.71	20.95	30.48

En comparant ces deux derniers tableaux avec le premier on remarque d'abord l'accroissement considérable du coefficient salin qui a presque doublé. Les betteraves ont donc diminué leur contenance en matières salines de presque moitié par l'amélioration de la culture.

D'autre part les matières organiques ont sensiblement augmenté. La culture intensive a donc poussé à la confection dans la plante de matières solubles organiques plus abondantes. Cependant il y a peut-être une correction à faire au tableau de Leluy. Ce que l'on appelle matière organique étant une différence, il se peut que les analyses faites avant 1882 par Leluy ne soient pas tout à fait exactes, quant au sucre, dosé avec le saccharimètre Soleil et le poids de 16,35. Mais, même dans ce cas, les matières organiques seraient plus faibles que dans les deux autres tableaux. Il faut remarquer aussi que le premier tableau provient de jus de presse, les autres de jus de diffusion. Ces derniers étant plus purs que les jus de presse, c'est une raison de plus pour croire à une augmentation importante de la matière organique soluble dans la betterave.

Enfin nous voyons combien les méthodes de cuite ont changé. Au-

trefois nous considérons tous qu'il fallait laisser 8 à 10 % d'eau dans la cuite. Aujourd'hui on a reconnu que plus on concentre plus on a de rendement, et les cuites n'ont plus que 5 à 6 % d'eau et même moins, la limite étant donnée seulement par la forme des portes de vidange des chaudières. Si celles-ci permettaient de couler à 4 % d'eau, le fabricant trouverait son avantage à pousser jusque-là son évaporation.

Ces observations rétrospectives offrent un certain intérêt que nous avons cru devoir signaler.

CUITES ACIDES

Nous avons vu que les sirops peuvent être acides, neutres ou alcalins dans les bacs qui précèdent l'évaporation et la cuite. Il en résulte pour la cuite divers phénomènes. Acides ou neutres, les cuites vont généralement bien, et d'autant mieux que les sirops sont plus riches, c'est-à-dire plus purs. Avec de bons sirops, l'ébullition est vive, les bulles se détachent rapidement et crèvent vite avec un bruit sec, la cuite est *sèche*, comme le disent les ouvriers. Avec des sirops moins purs, la cuite peut devenir *grasse*, les bulles alors crèvent difficilement. Mais lorsque les sirops sont alcalins, très souvent la cuite est *plate*, c'est-à-dire que quelque effort que fasse le cuiseur la masse ne se soulève plus, les bulles ne se forment pas, et la surface reste stagnante des heures entières sans évaporation sensible, le sirop *ne veut pas cuire*. Margueritte a cherché et trouvé un remède à cet obstacle grave, en ajoutant de l'acide dans l'appareil. Cette introduction, blâmée de prime abord par les chimistes, vu la propriété connue qu'ont les acides de former du sucre interverti, a cependant dans la pratique donné un démenti formel à la théorie, et cela parce que celle-ci jugeait sans se rendre un compte exact des phénomènes. L'acide ajouté en proportions convenables sature les alcalis, et la cuite reprend son allure vive, comme dans le cas de bons jus. On sait aussi la propriété de certains sels, et surtout du carbonate de potasse, de rendre visqueuses les solutions sucrées dans lesquelles il se trouve en abondance, tandis que les chlorures produisent beaucoup moins cet effet. L'acide transforme donc les carbonates en chlorures, et rend la masse plus fluide par là même. Voici donc deux causes qui expliquent le bon effet des acides ajoutés aux cuites plates ; mais il est évident que si l'on dépassait la limite de saturation des sels et alcalis précédents, si une portion plus ou moins considérable d'acide se trouvait à l'état libre dans le jus, il y aurait inversion et perte de sucre cristallisable, comme on le craignait en théorie.

Voici, d'après Margueritte, les quantités d'acide à employer et la manière de s'y prendre.

On pèse à l'aréomètre de Brix la matière sèche, sucre et sels contenus dans le sirop à cuire. On ajoute alors :

0,500 0/0 du poids trouvé d'acide sulfurique ;			
ou bien 0,372	—	—	chlorhydrique pur ;
ou bien 1,116	—	—	chlorhydrique du commerce à 20°, soit 962 ^m pour 100 litres de masse cuite.

Si l'on a déterminé les cendres réelles,

pour 100 kilogr. de cendres on emploie	6 ^k ,25 d'acide sulfurique ;
—	4 ^k ,65 d'acide chlorhydrique pur ;
—	13 ^k ,95 ou 12 litres d'acide du commerce.

L'acide chlorhydrique est préférable. On l'étend de cinq ou six fois son volume d'eau, et on l'agite avec le sirop, puis on fait la cuite comme d'ordinaire.

Pour les sirops de deuxième jet, l'opération est la même.

Suivent quelques analyses de cuite opérées avec ou sans acide, dans lesquelles on verra quelle différence capitale dans les rendements a fait subir cette opération aux sirops quand elle est bien conduite.

	CUIE NON ACIDE		CUIE ACIDE	
	Sans clairçage		Avec clairçage	
Sucre cristallisable	88	95.85	93	96
Cendres	3.87	2.43	2.30	1.69
Titre net	68.65	79.70	81.48	87.54
Valeur (cours de 62 fr. les 88° 7/9)	33	59.55	45.62	55.31
	Bénéfice de 16.55 par sac		Bénéfice 9.69 par sac	

De nombreux mécomptes ont eu lieu dans l'emploi mal dirigé de l'acide, mécomptes qui se chiffrent gros en fabrication. Cela prouve combien il faut faire attention aux données du problème pour le mener à bonne fin. D'ailleurs, outre les bénéfices signalés dans ce tableau, celui du temps qui n'est pas chiffré ici entre encore pour une bonne part, ne renfermerait-il que l'économie d'une grande quantité de vapeur fort sensible sur la marche de l'usine, provenant de la rapidité avec laquelle se conduit l'opération.

Le procédé Margueritte a donné lieu tant en France qu'en Allemagne à de nombreux rapports qui en ont tous fait l'éloge. Mais aujourd'hui il

est tout à fait abandonné depuis que l'acide sulfureux s'est répandu dans nos fabriques. Néanmoins il a été le point de départ de nombreuses recherches et observations qui ont dû puissamment contribuer à l'introduction de l'acide sulfureux comme correcteur de l'alcalinité des sirops.

DÉGAGEMENT DE VAPEURS NITREUSES PENDANT LA CUIRE

Il est arrivé parfois que l'on rencontrait, pendant la cuite des sirops, un dégagement de vapeurs rouges de bioxyde d'azote, dites vapeurs rutilantes, qui proviennent en général des réactions chimiques de la décomposition des nitrates. On s'est demandé comment et sous quelle influence les nitrates que contiennent parfois les jus de betterave pouvaient se décomposer. Maumené a reconnu que les nitrates en général, bouillis avec les sucres, ne produisent aucun développement de vapeurs rouges, que seul le nitrate d'ammoniaque se décomposait en attaquant le sucre et dégageant du bioxyde d'azote. Le sucre, en présence du nitrate d'ammoniaque (ou bien d'un nitrate quelconque et d'un sel ammoniacal, ce qui arrive fréquemment), se détruit donc abondamment et forme des matières colorantes noires qui salissent les cuites. Ce fait prouve donc une fois de plus combien les nitrates en culture sont dangereux pour la fabrication du sucre. Le remède en tout cas à ce mal est l'action prolongée de la chaux sur les jus pour chasser l'ammoniaque qu'ils contiennent. L'ébullition avec la chaux au commencement de la deuxième carbonatation, la conservation prolongée des jus chaulés dans les tuyaux Linard et dans les citernes Maumené, sont les moyens les plus propres à obvier à cette destruction du sucre.

§ 2. — Chaudières à cuire.

Les premières chaudières à cuire dans lesquelles on ait fait du grain sont les chaudières horizontales que Rillieux avait installées à la suite de son double ou triple-effet en 1843, et qui étaient chauffées par la vapeur du premier corps.

La raison pour laquelle on n'avait pas encore cuit en grain, c'est que les chaudières avant cela étaient fort petites, chauffées par un double-fond et ne servaient qu'à concentrer au filet une très petite quantité de liquide. Les appareils Rillieux au contraire étant très vastes, avec grande surface de chauffe, le sirop restait longtemps dans la chaudière, en masse qui s'augmentait sans cesse par charges alternatives. Le grain y naquit tout seul sans qu'on le cherchât, et depuis on n'a plus décessé de le faire, ayant reconnu le grand profit qu'on y trouvait.

Plus tard, quand les appareils Rillieux vinrent en Europe, on ignorait que cette caisse additionnelle à l'évaporation était la chaudière à cuire. Alors on revint à la chaudière d'Howard. Seulement on lui mit une rehausse, on augmenta sa surface de chauffe au moyen de serpentins. Puis le double-fond disparut, les serpentins augmentèrent d'importance, et c'est ainsi que naquit la chaudière verticale de nos sucreries actuelles, et que nous allons décrire.

Chaudières verticales. — Ces chaudières (fig. 140-141) sont composées d'une calandre en fonte ou fer de hauteur variable, fermée à sa partie supérieure par une calotte sphérique d'où s'échappe le tuyau de dégagement de vapeurs.

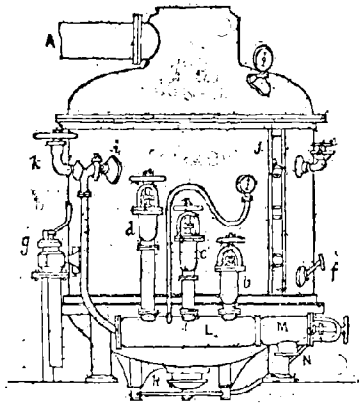


Fig. 140.

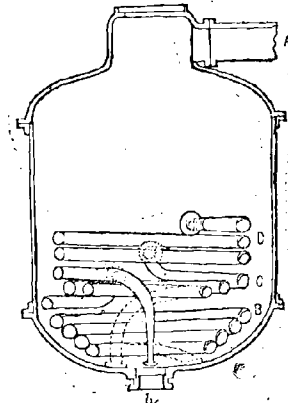


Fig. 141.

gement de vapeurs. Parfois elle est surmontée d'un vase de sûreté exactement comme les caisses des appareils d'évaporation.

A sa partie inférieure, la calandre est fermée par une autre calotte munie d'une vaste ouverture, laquelle est fermée par un clapet. On fit d'abord cette calotte sphérique. Mais comme la masse se vide mal ainsi on a fini par lui donner une forme conique plus rationnelle, aussi bien que l'on a cherché à donner au clapet la section la plus vaste possible.

A l'intérieur, trois ou quatre serpentins de vapeur provoquent l'évaporation du sirop. L'un est contenu dans la calotte inférieure dont il épouse la forme, le second, dans un plan horizontal est immédiatement au-dessus du premier, ou il a la forme, comme l'autre, d'une calotte sphérique d'un diamètre double ou triple; le troisième est encore au-dessus et s'enroule autour de la calandre jusqu'au tiers de sa hauteur. Ces trois serpentins sont munis de robinets-valves dont les volants sont

à la portée du cuiseur. Ces trois robinets-valves se raccordent sur un collecteur commun, dont la section est égale à la somme des sections des serpentins, muni lui-même d'un robinet-valve de forte dimension qui isole les premières de l'action directe de la vapeur, et permet de diminuer au besoin la pression de celle qui parcourt les serpentins. Un manomètre sensible est fixé sur le collecteur. Les serpentins sont munis à leur extrémité de clapets de retenue destinés à éviter les retours en arrière de l'eau condensée, puis ils se réunissent sur un tuyau collecteur commun qui se rend au ballon d'alimentation des générateurs, ou plutôt au ballon du triple-effet. Sur son trajet on a la fâcheuse habitude de placer, au lieu d'un robinet réglé, un appareil spécial dit *retour allemand* et surnommé par les ouvriers *boîte à chagrin*, à cause des mécomptes qu'elle occasionne souvent. Cet appareil, figure 142, se compose d'un récipient cylindrique vertical A, dans lequel

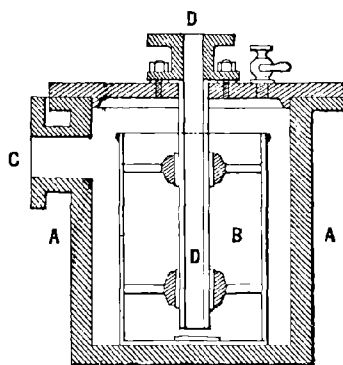


Fig. 142.

une sorte de soupape hydraulique empêche la sortie trop rapide de la vapeur, et la règle suivant la quantité d'eau condensée. Ce cylindre est en fonte, variant de 40 à 50 centimètres de hauteur suivant la force de la chaudière à cuire ; dans l'intérieur se trouve un seau en cuivre étamé B, qui forme flotteur, et est guidé dans son mouvement vertical.

Le cylindre est fermé par un couvercle boulonné. Les trois serpentins, réunis en un seul tube, apportent latéralement au cylindre, en C, leur eau condensée et l'excès de vapeur ; la seule issue qui soit ouverte à cette dernière est un tube D qui plonge verticalement dans le seau et se trouve bouché par le fond du seau lui-même quand celui-ci flotte, et s'appuie contre lui. Les choses allant normalement, l'eau arrive petit à petit dans le cylindre, entre lentement dans le seau par-dessus bord, l'emplit et le fait sombrer. Alors la pression qui était établie dans l'ap-

pareil par suite de la fermeture du tube central, chasse l'eau par ce tube dès lors ouvert, comme d'un monte-jus, le seau vidé et allégé remonte et ferme l'ouverture. Survient-il un effluve d'eau, elle déborde de nouveau par-dessus le seau, le fait sombrer et l'appareil se vide encore, tandis que l'action de la vapeur est sans effet sur lui.

Cette machine pour fonctionner demande un aplomb parfait, et pour qu'elle fonctionne bien les ouvriers sont quelquefois obligés de tricher sur son agencement, perçant un petit trou dans le seau pour qu'il s'emplisse mieux, etc.

Outre les robinets de vapeur, le cuiseur a encore sous la main le volant d'un robinet d'entrée du jus qui se fait sur le côté de la chaudière, un peu au-dessus du deuxième serpentín; de plus, une sonde (fig. 143), lui permettant de retirer de la masse une parcelle suffisante

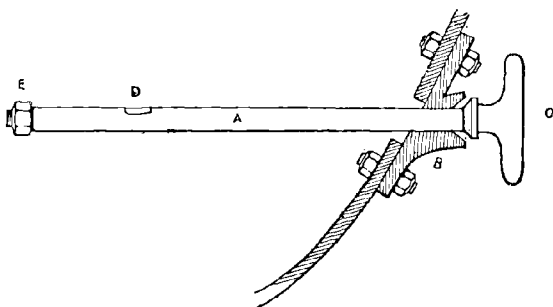


Fig. 143.

pour considérer le point de cuite; un robinet à beurre; une prise d'air assez forte fermée par un bouchon à vis, permettant de *casser* le vide promptement, c'est-à-dire de faire rentrer l'air rapidement dans la chaudière. De plus la calandre porte comme dans le triple-effet un manomètre indicateur de vide, une lumière sur presque toute sa hauteur, garnie d'une glace, un petit regard sur l'autre face pour laisser passer la lumière d'un bec de gaz ou d'une lampe électrique; enfin la prise de vapeur est munie d'un manomètre et d'un tube communiquant directement avec l'intérieur de la chaudière, fermé par un robinet boulonné à la partie haute de la calandre; cette prise de vapeur sert à laver la chaudière après l'opération.

La soupape qui forme la calotte inférieure de la chaudière est composée d'une monture en bronze fixée sur la calotte, présentant une ouverture circulaire dont les rebords sont larges et parfaitement dressés au tour. La soupape elle-même est en bronze, dressée de même, et montée sur une longue tige dont l'extrémité la plus courte est fixée à

pivot sous la calandre assez près de la soupape, et l'autre, très longue, se termine par une manette à la portée du cuiseur. C'est par cette soupape que s'évacue la cuite; sa fermeture est d'autant plus hermétique que les parties en sont mieux dressées et que le vide est plus élevé. L'ouverture de cette soupape s'effectue lorsqu'il ne reste plus que quelques centimètres de vide dans la chaudière; malgré cela, son manie-ment est pénible; dans les grandes chaudières des usines centrales l'ouverture à la main devient impossible. Dans ce cas la manette est remplacée par une partie plane percée d'un trou dans laquelle se fixe, au moyen d'une goupille, la fourchette formant l'extrémité d'une cré-maillère qui met en mouvement un pignon dont l'axe est muni d'un volant sous la main du cuiseur.

La sonde (fig. 143) se compose d'une longue tige cylindrique en bronze A, glissant dans une monture, en bronze également, B, boulonnée sur la calandre, à la partie la plus basse. Cette tige pénètre très avant dans la masse cuite; elle est munie en dehors d'une manette C en forme de clef, et à l'autre extrémité à une certaine distance du bout, une petite encoche D est creusée dans l'épaisseur de la tige. En faisant tourner cette tige dans la masse et l'amenant à soi, l'encoche sort de l'intérieur et amène avec elle une petite portion de cette masse. Un butoir E empêche le cuiseur de sortir complètement la tige. Une entaille sur la poignée indique le côté sur lequel se trouve l'encoche. On tire la sonde d'une main, on prend la preuve de l'autre et on referme la sonde en la maintenant, sinon la pression atmosphérique la pousserait violemment en place, ce qu'il faut éviter. Le cuiseur doit d'ailleurs la tenir parfaitement propre pour que son service soit facile.

En sortant du vase de sûreté, la vapeur rencontre le jet d'eau qui doit la condenser. L'injection d'eau ici a une toute autre importance que dans le triple-effet; car pour bien cuire, on doit savoir à volonté modérer le degré du vide. Aussi le cuiseur a-t-il sous la main le robinet d'eau; et même, dans certains vases de sûreté, y a-t-il injection d'eau par en haut et par en bas pour assurer un plus grand effet de la condensation.

Disons en passant que toutes ces précautions devraient être prises aussi bien pour le triple-effet que pour la cuite, car le vide dans le triple-effet est au moins aussi important à être maintenu élevé que dans tout autre appareil.

La pompe à air est identique à celle décrite pour le triple-effet.

Les dimensions sont très variables dans les chaudières à cuire, et les proportions relatives des dimensions des chaudières dépendent des constructeurs et souvent des fabricants. En effet, beaucoup de fabricants ont fait surélever démesurément la calandre pour avoir une grande hau-

teur de cuite qui, selon eux, favorise la formation du gros grain, sans faire attention qu'alors la surface de chauffe devient très faible par rapport à la masse chauffée et que s'ils font des gros grains, c'est plutôt parce que la cuite est lente à cause de l'insuffisance de surface de chauffe qu'à cause de la hauteur de la cuite.

En général, les chaudières à cuire ont un diamètre plus grand que la hauteur de la calandre.

Leur capacité, très relative, variant de 25 à 150 hectolitres avec des diamètres de 1^m,800 à 3 mètres, devient colossale dans les fabriques centrales. Ainsi, à Origny-Sainte-Benoite (Aisne), le diamètre intérieur est de 4 mètres et le volume de la cuite a 240 hectolitres; à Meaux, le diamètre est de 4^m,500 et la cuite de 350 hectolitres; enfin, à Cambrai, le diamètre s'élève à 5^m,500 avec 600 hectolitres de masse cuite.

Chaudières verticales à grande surface de chauffe. — Mais toutes ces chaudières à cuire ont une surface de chauffe très faible, eu égard à la masse qu'elles contiennent. Avec leurs trois ou quatre serpentins de très gros diamètre elles arrivent à faire 30 ou 40 mètres carrés de surface chauffante.

Depuis que Rillieux a mis en pratique le chauffage des chaudières à cuire au moyen des vapeurs du premier et du deuxième corps du quadruple-effet, chauffage réclamant au moins 100 mètres carrés pour des cuites ordinaires, les constructeurs se sont ingénies à multiplier la surface de chauffe. D'abord les gros serpentins ont disparu, parce que rien ne peut amener à construire de pareils engins de chauffage qui sont un contre-sens. On leur a substitué les petits serpentins, les grilles, les lyres, etc., pour conserver la forme verticale chère aux vieux fabricants, quoique ce soit la plus mauvaise. Elle n'a pour elle que de tenir moins de place en surface, son volume étant tout en hauteur. A ce point de vue, dans les vieilles sucreries qui se transforment, c'est un cas absolument primordial et qui permet l'adoption des procédés nouveaux dans des conditions acceptables sans être parfaites.

Mais les cuites les plus recommandables ce sont celles qui ont leur chaudière horizontale avec une surface de chauffe que l'on peut obtenir aussi grande que l'on veut grâce à cette forme, tout en maintenant une hauteur de masse beaucoup plus faible que dans les chaudières verticales, condition première pour bien cuire

Parmi les chaudières verticales à grande surface de chauffe nous citons la *cuite Greiner* (fig. 144). Les serpentins y sont en fer, de petit diamètre. Leurs spires sont superposées pour laisser à la masse son écoulement naturel lors de la vidange. Huit batteries de serpentins

concentriques (fig. 145) prennent tout l'intérieur de la moitié inférieure de la chaudière, avec grand passage dans le milieu. Ces batteries de serpentins sont constituées par des segments (fig. 146) montés sur des colonnes de distribution de vapeur, de sorte que la vapeur ne fait pas un circuit interminable dans les tuyaux, mais parcourt une longueur normale pour sa condensation dans tous les tuyaux à la fois. Ces segments de serpentins s'assemblent facilement dans la chaudière au moyen de boulons, et sont facilement maniables au montage.

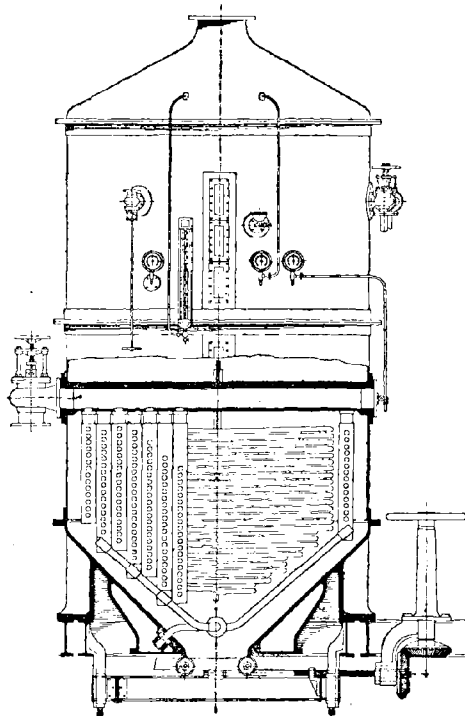


Fig. 144.

L'eau condensée de tout l'ensemble se rend dans un tuyau collecteur qui l'évacue dehors par une même tubulure.

La cuite Greiner se fait en plusieurs dimensions, depuis 37 mètres jusqu'à 209 mètres carrés, cette dernière pour une contenance de 50.000 kilogrammes de masse cuite.

Les cuites à surface de chauffe en forme de *lyre* comportent sur la hauteur de leur calandre une chambre de vapeur en fonte dans laquelle viennent déboucher les extrémités de tuyaux qui, faisant le tour intérieur de la chaudière, ont leur autre extrémité sertie dans une autre

chambre accolée à la première où se font les retours d'eau. On peut ainsi faire plusieurs tuyaux concentriques qui occuperont à peu près la même disposition que les serpentins Greiner, mais tous reliés par leurs deux extrémités aux deux chambres d'entrée de vapeur et de sortie d'eau.

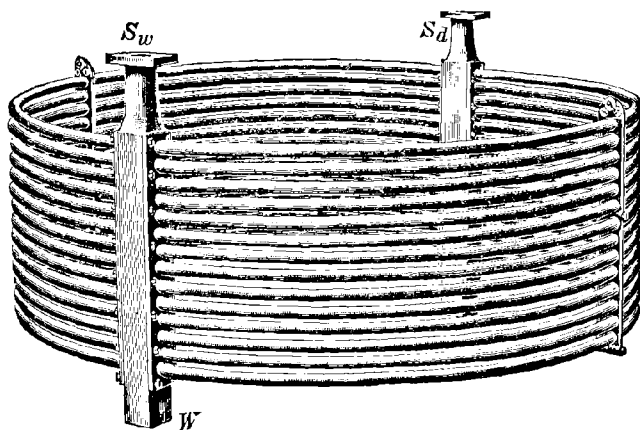


Fig. 145.

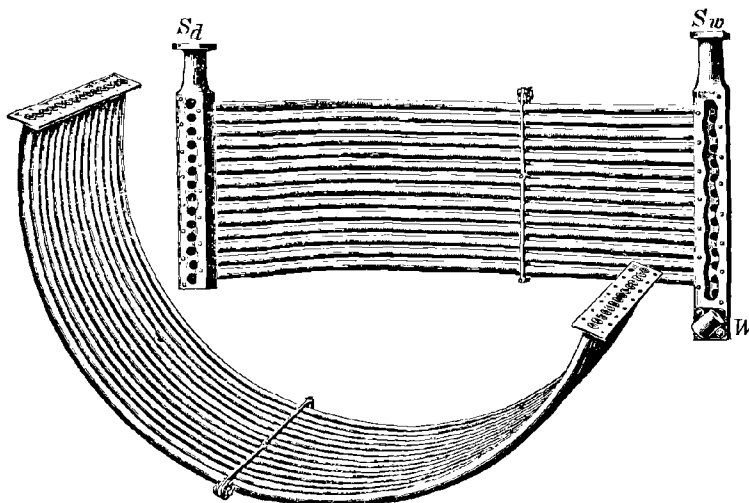


Fig. 146.

La chambre de vapeur est coupée par des cloisons, et chaque compartiment a son robinet de vapeur, de manière que l'on puisse chauffer

les serpentins correspondant à la hauteur de liquide en travail. Les chambres de sortie d'eau ont leurs compartiments correspondants, également avec robinets. On a même été jusqu'à imaginer un système de piston qui sert de robinet, et qui découvre les orifices des entrées de vapeur au fur et à mesure qu'il monte dans son cylindre. Mais à ce mouvement ascendant correspond le mouvement ascendant d'un autre piston qui débouche les orifices de la sortie d'eau correspondante ; de sorte que l'entrée et la sortie du tuyau sont ouverts en même temps d'un même mouvement.

La surface de chauffe dans ces chaudières est peut-être un peu plus petite que dans les chaudières Greiner, mais leur fonctionnement est le même.

Toutes ces chaudières verticales ne peuvent recevoir qu'une seule espèce de vapeur. On les chauffe à vapeur détendue du ballon ou bien au moyen des vapeurs du premier corps du quadruple-effet. Seules les chaudières horizontales peuvent recevoir deux espèces de vapeur.

Chaudières à cuire horizontales. — Les chaudières à cuire de Rilieux étaient horizontales de la forme de ses chaudières d'évaporation, « forme de locomotive ». Cette disposition avait des inconvénients : il n'y avait pas assez de place au-dessus de la masse pour la vapeur et l'extraction en était difficile.

On imagina alors de faire le fond en forme de trémie pour avoir une large porte comme dans nos chaudières verticales. Mais dans cette trémie il fallait loger un serpentin de vapeur, sans quoi la masse s'y refroidissait. D'ailleurs la circulation y était mauvaise, et dans le fond s'accumulaient des cristaux qui bouchaient la porte en forme de croute épaisse.

Lexa a imaginé une chaudière à cuire connue sous le nom de Lexa-Héroid que nous allons décrire.

L'appareil Lexa-Héroid (fig. 147-148) se compose d'un grand coffre en tôle en forme dite « tombcau » qui mesure 2^m,650 de largeur et 4 mètres de hauteur et dont la longueur est variable avec la capacité que l'on veut obtenir. Le dessin que nous donnons représente une chaudière de 4 mètres de longueur.

La hauteur occupée par les tubes de chauffage est de 1^m,20, et la hauteur totale de la masse cuite depuis le fond est de 2^m,40 environ. Les tubes sont horizontaux, amovibles par groupes de deux. Il y en a 240 formant une surface de chauffe de 120 mètres carrés, avec une capacité de l'appareil de 200 à 250 hectolitres de masse cuite.

Les extrémités des tubes se rendent dans deux chambres de vapeur

séparées verticalement en deux compartiments principaux qui peuvent marcher séparément ou ensemble à la volonté du cuiseur au moyen d'une soupape placée dans la séparation. De plus une soupape permet d'isoler les trois rangées de tubes du haut pour faire le pied de cuite.

Grâce à ce jeu de soupapes, on peut chauffer soit une moitié avec de la vapeur du premier corps et une moitié avec la vapeur du second corps, soit les deux moitiés avec la vapeur du second corps seulement. De plus la rangée des tubes du bas peut être affectée, comme sur notre

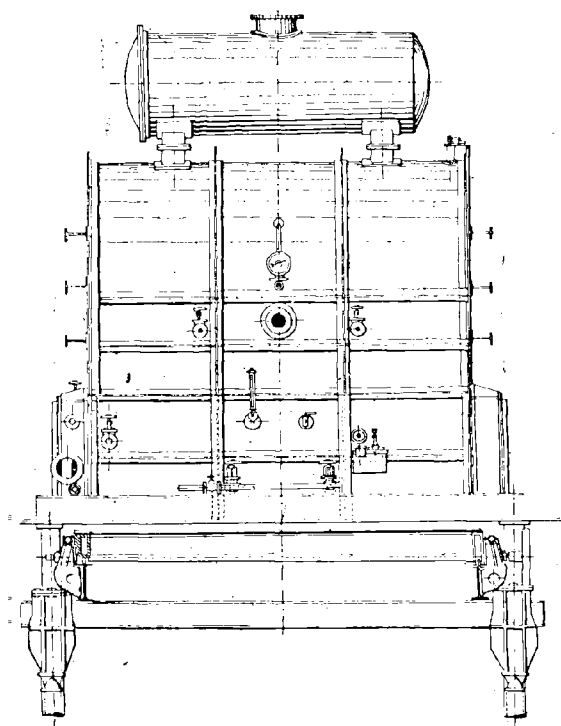


Fig. 147

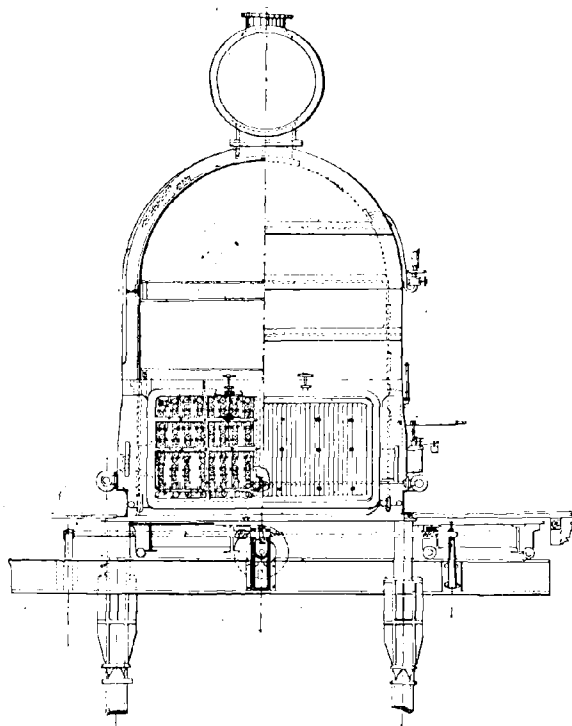


Fig. 148.

dessin, à la vapeur directe, lorsque l'on veut soulever momentanément la masse pour lui donner plus d'homogénéité. Mais on a reconnu en Autriche l'inutilité presque constante de cette disposition, si bien qu'on la supprime généralement. En effet, si l'on chauffe la moitié de la cuite avec le premier corps et l'autre moitié avec le second, il se produit un mouvement circulaire de la masse à cause de la différence de température, ce qui la mélange suffisamment.

La vapeur d'ailleurs circule très vite dans les tubes, car les deux com-

partiments principaux sont divisés eux-mêmes en compartiments de circulation par des séparations horizontales qui donnent quatre circuits à la vapeur, allant de bas en haut. L'eau condensée est extraite dans chacun des compartiments aux deux extrémités.

La porte de vidange est formée de deux plateaux en tôle fortement armés, et qui ont toute la longueur de l'appareil et comme largeur chacun la moitié de celle du fond.

Ces deux plateaux reposent sur un châssis en fer, munis de galets roulant sur deux rails formés de fers à double T. Les deux portes, quand elles sont fermées, se rejoignent sur une portée en fer disposée dans l'axe de la chaudière.

Le joint entre la chaudière et la double porte se fait au moyen de deux tubes en caoutchouc entrés dans une rainure en queue d'aronde ménagée dans le cadre formant la base de la caisse. Une petite presse hydraulique permet de refouler l'eau à trois atmosphères de pression dans le caoutchouc et assure l'étanchéité. D'ailleurs, aussitôt que l'on fait le vide, les portes appuient tellement bien contre les caoutchoucs que la pression y monte à 12 atmosphères. Alors on lâche un peu d'eau pour maintenir constamment trois atmosphères dans le caoutchouc.

Au moment de la vidange on supprime la pression de la presse hydraulique et les fonds peuvent alors se manœuvrer sans obstacle, le poids de la masse cuite suffisant pour séparer les portes de caoutchouc.

Mais en raison même du poids de la masse cuite, les portes sont lourdes à tirer en arrière. Cette traction se fait au moyen d'engrenages actionnant une vis sans fin droite et gauche qui entraîne chacune des portes en arrière lorsqu'on la fait tourner.

Cette vis est mise en mouvement par transmission au moyen d'une courroie placée sur le volant d'une machine ou sur une autre transmission en sorte que le cuiseur, seul et sans aide, peut ouvrir et fermer son appareil très facilement. En agissant sur la poulie folle et la poulie fixe avec précaution, on arrive à manier les portes avec toute la douceur que l'on désire.

Terminons en disant que la chaudière est surmontée d'un grand ralentisseur, et munie de tous les accessoires nécessaires, lunettes, thermomètres, sondes, etc.

Ces appareils sont de fort belles pièces, imposantes et d'un manie-ment commode. La cuite y est régulière et très facile à conduire, plus facile même avec la vapeur à 95° que dans les chaudières ordinaires avec la vapeur à haute pression.

Les premiers modèles de la cuite Lexa-Héroid avaient un défaut, c'était de laisser entre la porte et la première rangée de tubes un espace

trop grand où se déposait une couche de sucre. On a corrigé la chose, et maintenant ces chaudières à cuire sont exemptes de tout reproche.

§ 4. — Conduite de la cuite en grains.

Depuis quelques années on a introduit dans les méthodes de cuite des modifications profondes à la suite des travaux de Steffen et autres. On rentre maintenant presque partout des égouts de turbinage dans la cuite, et la manière de conduire le travail n'est plus la même.

Nous allons néanmoins décrire les anciennes méthodes de cuite, puis nous parlerons des appareils que l'on a imaginés pour régler d'une façon plus scientifique ce travail, et enfin nous décrirons les méthodes nouvelles de cristallisation en mouvement.

La cuite en grains est une opération délicate si l'on veut tirer de son appareil tout le profit qu'il peut nous donner ; car, s'il est facile de faire du grain dans les chaudières closes, il est difficile de faire tout le grain possible ; c'est un art fort recherché dans un cuiseur de savoir faire à volonté du grain fin, moyen ou gros, bien formé et bien sec, ne passant pas à travers les toiles des turbines parce que tous les grains sont égaux, se clairçant facilement et donnant aussi peu de mélasse que possible. Un bon cuiseur diminue par là les frais afférents au travail des seconds, puisqu'ils deviennent peu abondants, les premiers retenant le maximum de sucre. Ce n'est pas dans un livre que l'on peut apprendre à cuire ; la pratique seule fait un cuiseur, mais nous pouvons cependant indiquer les points théoriques sur lesquels il est bon d'être fixé.

La cuite en grains peut se diviser en trois périodes. Dans la première, on introduit dans l'appareil environ le tiers du volume total du sirop à cuire en deux ou trois charges, et l'on concentre à la preuve voulue pour faire le cristal

Dans la deuxième période, par charges successives, on introduit les deux tiers restant du sirop, de manière à produire et développer le cristal.

Enfin, dans la troisième période, on achève la concentration de la masse.

La première et la seconde périodes ont des durées relatives assez constantes ; la deuxième est trois ou quatre fois plus longue que la première. Quant à la concentration, sa durée varie essentiellement avec la qualité du jus. Une bonne betterave, une bonne fabrication fournissent un sirop qui se concentre à la troisième période en vingt minutes, en une cuite épaisse et sèche bien facile à turbiner. Il n'en est plus de même d'une betterave avariée ou verte, d'un jus chargé de matières

extractives ou mal déféqué. Dans une année au-dessous de la moyenne, il faut parfois plus d'une heure et demie pour arriver à un résultat satisfaisant ; à la fin de mauvaises campagnes, il est souvent impossible de concentrer la cuite qui reste grasse et pesante, et facile à brûler, quelqu'effort que fasse le cuiseur. On voit donc à quoi l'on s'expose en ne soignant pas la fabrication des sirops ; c'est à perdre un temps précieux en prolongeant indéfiniment la cuite, à arrêter même la marche de l'usine en laissant par là emplir les bacs d'attente et le triple-effet, enfin à dépenser sans aucun profit une quantité de vapeur considérable par le prolongement démesuré de la cuite. Un cuiseur ne devra d'ailleurs pas s'acharner après une mauvaise cuite au risque de compromettre les intérêts de l'usine. Mieux vaut encore enrichir les seconds de tout ce que l'on n'a pas pu fixer en premier jet.

Borodouline, dans le tableau suivant, indique les phases d'une cuite en grain exécutée sur le sirop suivant dont la densité était 1,126.

Sucre	30,5
Non sucre	3,3
Eau	66,2
	100,0

PÉRIODES	DÉSIGNATION	POIDS du sirop en kilos	LE SIROP contient en kilogrammes			400 KILOS DE SIROP contiennent : Sucre		DÉSIGNA- TION de la preuve	POIDS du sirop dans l'appareil à la preuve	LE SIROP à la preuve contient :			DURÉE de l'évapo- ration
			Sucre	Non sucre	Eau	avant la cuite	après la cuite			Sucre	Non sucre	Eau	
I	Sirop introduit dans l'appareil en quatre charges.	2784	849.3	91.89	1842.7	30.5	77.27	Crochet	1099.1	849.3	91.9	157.9	50'
		145	44.2	4.58	96.15	30.5	77.14	Crochet	57.32	44.2	4.6	8.5	
		6996	2133.6	230.79	4631.4	30.5	76.35	Filet	2794.4	2133.6	230.8	429.9	
		117.9	36.0	3.77	78.13	30.5	77.20	Filet	46.6	36.0	3.77	6.88	
III	Sirop total	10042	3063	331	6648	30.5	76.62		3997	30.63	331	603	30'
		3997	3063	331	603	76.62	80.26	massécuite	3917	30.63	331	423	

Il ressort de ce tableau que les quantités d'eau évaporées par minute dans chaque période sont :

1 ^{re} période.	33 ^k ,710
2 ^e période.	13 ^k ,104
3 ^e période.	6 ^k ,027

nombre qui donnent une idée vraie du rapport du travail à chaque instant de la cuite.

Borodouline continue en donnant la quantité de cristaux contenus après refroidissement à 20° dans trois échantillons de sirop pris dans l'appareil immédiatement avant la première charge à grains, après l'apparition du cristal dans l'appareil et à la fin de la cuite.

1 ^{er} éch. sucre en crist.	54,40	en solution	22,87	non sucre et eau	22,73
2 ^e — —	61,42	—	22,87	—	22,88
masse cuite	66,60	—	13,66	—	19,74

D'où résulte déjà que le sirop cuit au crochet a donné moins de cristaux que le sirop cuit en grains.

Pratique de la conduite de la cuite. — Il y a plusieurs manières de conduire la cuite suivant l'espèce de vapeur dont on fait usage, directe ou de retour, ou au moins suivant la pression à laquelle on l'admet dans les serpentins. Les premières chaudières closes qui ont été construites par Howard n'admettaient que la vapeur à basse pression ; dans les appareils Rillieux, qui précédèrent l'emploi de nos chaudières à haute calandre et qui étaient horizontaux comme un générateur de locomotive, la cuite se faisait à double-effet, c'est-à-dire à une pression plus basse encore que celle adoptée dans les chaudières d'Howard. Il est évident que si l'on cuit avec de la vapeur à basse pression, c'est-à-dire contenant moins de chaleur que la vapeur à 5 atmosphères que l'on emploie aujourd'hui, il faut que le vide dans la chaudière soit plus élevé pour que la différence entre la température de la vapeur de chauffage et celle du liquide qui bout soit la même dans les deux cas. C'est aussi ce qui différencie les deux systèmes de cuite. Donc, si l'on veut suivre l'ancienne méthode, c'est-à-dire cuire avec la vapeur à basse pression, méthode qui a l'immense avantage sur la première de ne pas caraméliser la cuite, il faut cuire avec le maximum de vide pendant tout le temps, sauf au début où l'on a intérêt à réchauffer un peu le pied de cuite pour grainer. D'ailleurs, ceci est un pur tour de main que les cuiseurs savent vite attraper. Cette méthode est d'ailleurs très simple et l'on se demande pourquoi elle a été abandonnée ?

Si l'on veut cuire à haute pression, soit pour faire des grains très gros, soit plutôt parce que le montage ne permet pas de faire autre chose, nous ne saurions mieux expliquer la conduite de la masse cuite qu'en citant presque textuellement les conseils que donne Lefuy sur cette matière.

Mettre la pompe en marche, et en même temps ouvrir peu à peu l'injection d'eau.

Quand le vide est à 15 ou 16 pouces, alimenter. Pour cela, ouvrir de quatre ou cinq tours le robinet d'aspiration de sirop jusqu'à ce que le sirop monte à 15 ou 20 centimètres au-dessus du premier serpentin, en bas.

On commence le chauffage. Pour cela, ouvrir *suffisamment*, c'est-à-dire à deux tours de volant environ, la prise générale de vapeur qui est à l'extrémité du collecteur, et en plein le robinet du premier serpentin. Les sirops, s'ils sont chauds, ne tardent pas à bouillir.

Régler alors la prise de vapeur de façon à ce que le manomètre ne dépasse pas 6 à 8 dixièmes d'atmosphère.

Le vide ne doit pas être alors plus élevé que 17 ou 18 pouces, température de 73°, pendant les quatre cinquièmes du travail. D'ailleurs, ce n'est que lorsque l'ébullition est devenue régulière que l'on doit s'en inquiéter.

On continue le chauffage à 1 1/2 ou 2 atmosphères, température suffisante pour le reste de la cuite.

Avoir l'œil au manomètre, car la tension de la vapeur dans les serpents et la puissance du vide obtenu dans la chaudière sont inversement proportionnelles au degré de concentration du sirop, en sorte que plus le sirop est aqueux, moins élevés seront le vide et la pression, *et vice versa*. Il faut qu'il y ait un équilibre constant.

Pendant tout le temps de cette première phase, alimenter soit par jet continu, soit par charges successives.

Après une heure et demie ou deux heures pour les chaudières de 100 à 150 hectolitres, et davantage pour les autres, l'évaporation touche à son terme. Le sirop présente une consistance nouvelle, les bulles de vapeur se soulèvent plus difficilement, et, refroidies par leur ascension lente à travers la masse, elles arrivent à la surface sous une mince enveloppe de sirop, au moyen de laquelle elles forment de petites vésicules savonneuses qui persistent quelque temps avant de se rompre. Régler alors exactement la vapeur à 3 atmosphères, le vide à 18 pouces.

I. — POINT DE CUIRE. — 42° 1/2 à 43° Baumé. Le sirop type suivant ayant une densité de 1,1476 ou 18° B. à 20° centigrades.

Sucre	32,62	devient : Sucre	81,85
Sels	1,05	Sels	2,94
Matière organique . .	1,58	Matière organique . .	4,81
Eau	64,75	Eau	10,40
	<hr/>		<hr/>
	100,00		100,00

Preuves indirectes : manomètres. — Si les manomètres ont été bien réglés au commencement, la vapeur initiale n'ayant pas changé, le vide doit indiquer 19 pouces, et la vapeur 3 1/2 à 4 atmosphères.

Bouillons d'une très grande densité, s'élevant et retombant très lourdement, s'étalant le long de la glace horizontalement, analogues à la *baque* que donnent les liqueurs en bouteille quand on les agite.

Gouttes projetées par l'ébullition contre les glaces, au-dessus des bouillons, très épaissies, rondes, compactes, semi-sphéroïdales comme des gouttes de suif, entièrement différentes de la liquidité primitive; collées au cristal, le long duquel elles descendent avec lenteur. En se déplaçant, elles marquent leur passage par une mince trainée de sirop moins coloré que celui du corps de la goutte. Ces gouttes sont bien distinctes des amas de bulles sirupeuses qu'on trouve simultanément sur la glace, ne contenant pas de bulles d'air, ou bien fort ténues, formées uniquement de sirop, et leur coloration étant plus intense au centre qu'à la circonférence. Quant aux mousses, elles sont plus volumineuses et très irrégulières, recouvrant parfois de petites masses sirupeuses mamelonnées, analogues aux gouttes, et qui descendent avec lenteur, en trainées épaisses sur les lunettes.

Preuves directes. — A la sonde : prendre l'échantillon aussi faible que possible, n'avoir jamais les doigts mouillés. Voici comment se présentent les sirops dans l'ordre, jusqu'au point de cuite :

1° Essai (vapeur 3 atmosphères 2/10, vide 18 pouces). Goutte sèche, peu adhérente et se divisant en deux autres presque rondes, mais inégales, la goutte inférieure plus grosse que celle de l'index ;

2° Essai (vapeur 3 atmosphères 2/10, vide 18 pouces 1/4). Goutte un peu plus dense et se sépare en deux moitiés presque égales, commencement d'adhérence ;

3° Essai (vapeur 3 atmosphères 3/10, vide 18 1/2). Sous un faible écartement des doigts, 2 à 3 centimètres, la goutte forme un filet grossier, plus large en bas qu'en haut, et ressemblant à deux cônes unis par leur sommet. Le filet se rompt avec aisance, et prend sensiblement la forme d'une massue ;

4° Essai (vapeur 3 atmosphères $\frac{4}{10}$, vide 18 $\frac{3}{4}$). Goutte plus épaisse, supportant sans se rompre un plus grand écartement des doigts. Filet aminci; en se rompant laisse apercevoir un tout petit tortillement avec une ombre de crochet à la fraction supérieure;

5° Et dernier essai (vapeur 3 $\frac{5}{10}$, vide 19). Sirop dense, visqueux, adhère fortement aux doigts. La goutte forme un filet délié qui se rompt en écartant largement et vivement les doigts. La partie supérieure se relève, se contracte et se tortille en tire-bouchons, dont l'extrémité se recourbe en crochet. Si la rupture du filet est effectuée par le simple écartement des doigts, sans mouvement particulier du pouce, la cuite est dite *au crochet léger* (selon l'auteur, c'est le meilleur point pour obtenir en premier jet des rendements maximum et des produits bien cristallisés). On réglera le point de cuite naturellement suivant la qualité du sirop. S'il faut cuire plus serré, on attend que le filet ne se cassant plus aisément par le seul écartement des doigts, on soit obligé d'en amener la rupture par un mouvement transversal du pouce; le filet se divise alors en deux parties extrêmement ténues, la supérieure formant crochet comme d'abord; cette preuve est dite au crochet fort.

II. — FORMATION DU GRAIN. — Il est de la plus haute importance au rendement de faire du grain régulier. Il faut pour faire des cristaux moyens :

1° Cuire avec des sirops faibles à 17 ou 18° Baumé;

2° Tenir un point de cuite léger jusqu'à l'apparition des premiers cristaux, de manière à former moins de grains à la fois et donner à ceux-ci le temps de grossir;

3° Faire de fortes charges, eu égard au volume de l'appareil, afin que la cristallisation s'effectue lentement et sans trouble;

4° Conduire la cuite avec lenteur et fixité, maintenir la stabilité du vide et de la vapeur en laissant néanmoins osciller les aiguilles entre des écarts de $\frac{1}{10}$ d'atmosphère et $\frac{1}{4}$ de pouce de vide environ;

5° Laisser le vide monter de 1 pouce ou 2 avec des sirops faibles à 16 ou 17° Baumé, le diminuer d'une fraction équivalente avec des sirops riches, afin d'accélérer la cristallisation des premiers et ralentir celle des seconds.

Marche pratique à suivre pour mettre ces données à exécution :

1° Charge sur le sirop cuit formant *pied de cuite* : ouvrir de 3 ou 4 tours le volant du robinet d'alimentation et attendre 5 à 10 secondes, suivant la consistance du sirop; fermer. — Les bouillons s'éclaircissent et coulent sur la lunette quatre ou cinq fois plus vite; les manomètres fléchissent régulièrement; la vapeur descend de 3 $\frac{1}{2}$ à 3 atmosphères et le vide de 19 à 18 pouces, en sorte que chaque oscillation de 1° du

manomètre correspond à un déplacement double du thermomètre. Au bout de 4 à 5 minutes le liquide intérieur est revenu au point de cuite, alors :

2° Charge de *même volume* que la première, condition indispensable pour avoir des grains égaux.

Quant au volume, il est assez difficile à définir et a moins d'importance ; il varie avec les dimensions des chaudières et la densité du sirop. En général, le *pied de cuite* représente les $\frac{2}{5}$ du volume total à cuire, restent $\frac{3}{5}$ pour les charges. On fait cette charge environ de $\frac{1}{50}$ du sirop complémentaire. On fait 15 ou 20 charges égales, puis on alimente d'une manière continue, à partir du moment où le grain est assez gros ;

3° Charge semblable aux deux premières jusqu'à ce que le sirop recuisse ;

4° Charge, *idem*, etc. Avec des ouvertures de robinet égales, et des temps égaux, toutes les 4 ou 5 minutes. *Ne pas trop serrer la cuite chaque fois*, ce qui ferait naître des grains nouveaux. On reconnaît assez bien que la cuite a été poussée trop loin lorsque, après l'alimentation, les bouillons frappant la glace pâlisent subitement et deviennent jaunepaille, formant çà et là des amas de bulles qui paraissent furtives et bouillonnent comme une goutte d'eau tombant sur une tôle chaude. Inspecter aussi la sonde et le manomètre.

Avec de bons sirops, on peut apercevoir le grain après la cinquième ou sixième charge. On continue les charges régulières jusqu'à ce que le grain soit bien formé et dur sous le doigt, ceci après 15 ou 20 charges. Si ces volumes de sirop sont tous bien réguliers, la marche des manomètres est très régulière. Si les sirops sont mauvais, les cristaux n'apparaissent que fort tard ; il ne faut pas s'en inquiéter, et suivre la marche régulière qui les formera quand même.

A partir de la 15° ou 20° charge, lorsque les cristaux sont suffisamment formés, on peut fournir une alimentation plus copieuse, afin d'arrêter la formation de nouveaux cristaux, et développer ceux qui existent. Il n'en faut pas faire trop ni trop peu. On juge sur une glace qu'il y a assez de grains, lorsque ceux-ci couvrent à peu près $\frac{1}{10}$ de la surface totale ; la goutte sur la glace est devenue presque complètement opaque, et la masse a pris une nuance gris terne caractéristique. Avec de bons sirops, on a mis une heure environ pour arriver à ce point. Si les sirops sont moins bons, on peut mettre deux ou trois heures.

III. — NUTRITION DU GRAIN. — Éviter l'état de sursaturation qui fait naître de nouveaux grains, par conséquent, délier le sirop d'une manière suffisante, mais pas exagérée.

1° Le sirop a une densité convenable si la goutte, projetée par l'ébullition contre la glace, y adhère dans une certaine mesure, et descend avec une vitesse qui ne dépasse pas deux à trois millimètres par seconde. En glissant le long des lunettes, les mousses ou bulles qui recouvrent la goutte se dérobent les premières et mettent à découvert une petite traînée de sirop granuleux qui coule avec une lenteur double, et dont l'aspect, la compacité et la granulation font juger des progrès de la cuite;

2° Le sirop est trop dense lorsque la goutte glisse pesamment sur le verre et semble presque s'y attacher. Les mousses alors ont assez de peine à se séparer du sirop qui donne des bouillonnements jaune pâle furtifs après chaque injection ;

3° Le sirop est trop liquide quand la goutte et les mousses adhèrent peu à la glace et glissent avec volubilité sans presque laisser de traînée visible.

Marche pratique. Donnez une première charge en tenant le robinet dans son ouverture initiale pendant 15 à 20 secondes. Observer alors ce qui se passe. On n'a rien à craindre pour le grain d'une alimentation trop copieuse pour cette première charge. On laisse se serrer la masse, et on donne une seconde, puis une troisième et une quatrième charge exactement semblables. Pendant ce temps, on règle ses robinets, de manière à ce que les manomètres restent dans les limites premières de la cuite, entre des écarts de 2 à 3 dixièmes et de 1/2 à 1 pouce. Lorsque ces éléments ont pris de la stabilité, on peut commencer une alimentation continue après 4 ou 5 charges successives. Pour cela, ouvrir le robinet de deux ou trois tours ou plus, surveiller attentivement les manomètres et la cuite pour proportionner le volume de liquide à celui du sirop injecté. Le travail étant bien réglé, le cuiseur n'a plus qu'à suivre de l'œil les progrès de l'évaporation.

Lorsque le sirop recouvre le deuxième serpentín on y introduit la vapeur en ouvrant également le robinet d'alimentation de sirop de 1/4 ou 1/2 centimètre en plus pour subvenir au surcroît de vaporisation, et on le règle comme précédemment. En même temps on surveille son vide qui tend à tomber et que l'on règle au moyen de l'eau de la pompe. Quand le troisième serpentín baigne dans le sirop, on y lance la vapeur en suivant les mêmes indications. Alors la vapeur descend ; on la maintient à 2 atmosphères 1/2 et le vide à 19 pouces. Observer aussi la qualité de la cuite, si elle est grasse ou sèche, car on peut la tenir d'autant plus serrée qu'elle est meilleure. La cuite est bonne lorsque le grain se sépare nettement de la mélasse, en comprimant sous les doigts l'échan-

tillon plongé dans l'eau froide. Si les grains sont collants et gommeux, la cuite est grasse ; on doit alimenter un peu plus fort pour *laver* les cristaux et assurer une purgation ultérieure plus facile.

Après 6 ou 10 heures, il faut songer à une concentration progressive plus marquée. La masse atteint alors la hauteur de la troisième lunette. Quoiqu'il en soit, tenir le point de cuite de plus en plus serré, fermer un peu le robinet d'alimentation, pour laisser monter le vide de 19 à 21 pouces. Au bout de 1 h. 1/2 ou 2 heures, vers la fin, laisser quelques instants monter la vapeur à 3 atm. 1/2 pour réchauffer la masse, ce qui donne aux cristaux plus de dureté et de nerf. Alors on arrête l'alimentation pour procéder au serrage de la cuite.

IV. — SERRAGE DE LA CUITE. — A ce point, le robinet d'alimentation étant fermé, on ferme aux 3/4 la prise générale de vapeur, et la pression dans les serpentins tombe de 6 ou 8 dixièmes d'atmosphère, ce qui est suffisant pour finir. Le vide alors remonte à 22, 23, 24 pouces. Chaque fois qu'il accuse un degré de plus, on fait une petite injection de sirop pendant 3 ou 4 secondes seulement pour *laver* les cristaux. La masse alors subit un commencement de purgation ou de dégraissage qui la rend moins collante et plus facile à serrer. On donne trois charges semblables à 8 ou 10 minutes d'intervalle, mais dans des limites telles que l'on ne délaie pas trop la cuite, puisque ce n'est que pour laver le grain et non le nourrir.

La limite de dessiccation finale est difficile à définir. Il faut peu serrer une mauvaise cuite grasse, et le plus possible une bonne cuite. (L'auteur préconise le turbinage, 1 heure ou 2 après le coulage.)

Le serrage va bien lorsque la masse roulée sous les doigts se délaie facilement dans l'eau en mettant le grain à nu.

Au bout de 20 minutes, une 1/2 heure, si l'échantillon se détache difficilement du bout de l'index auquel il est suspendu, ou bien en le recevant sur le pouce s'il s'étale en forme de pastille, l'évaporation à chaud est suffisante. On ferme tout à fait le robinet de prise de vapeur. Le vide monte, la masse se refroidit, on fait encore une ou deux petites charges plus faibles que les précédentes, à 10 ou 12 minutes d'intervalle, et on inspecte la sonde toutes les 4 ou 5 minutes, suivant l'habileté, du reste, du cuiseur. Sur les lunettes, plus on approche de la fin, moins les effets de miroitement du grain ont d'intensité. A la sonde, on peut porter le serrage à ses dernières limites, si l'échantillon écrasé entre le pouce et l'index présente, en écartant légèrement les doigts sans rompre la membrane sirupeuse, des grains durs enrobés dans un sirop clair, si, placé sur du papier blanc ordinaire, l'échantillon ne

s'étend pas sensiblement, si le sirop en s'absorbant laisse à découvert des cristaux nets et bien dégagés. Si, au contraire, la masse est gluante et colle aux doigts par de nombreux filets, il faut des ménagements : on commence par serrer le plus possible, puis on fait une petite addition de sirop et on la serre cette fois un peu moins qu'auparavant pour ne pas gêner le turbinage. Avec de bons sirops, la cuite est considérée comme finie lorsque l'échantillon, pris avec l'index, retombe lentement sur le pouce, forme bien le *pompon* et ne s'étale qu'avec difficulté. Alors il ne reste plus qu'à faire couler la cuite. Pour cela, fermer l'injection d'eau, arrêter la machine, rompre le vide, et quand il ne reste plus que 5 ou 6 pouces, ouvrir la soupape, vaporiser un peu l'appareil pour détacher les parties adhérentes, nettoyer les lunettes, et laisser égoutter l'appareil.

Remarque. — Nous avons reproduit en entier ce document intéressant et fort bien fait parce qu'il est probable que longtemps encore on cuira de la sorte. Mais nous avons à y relever quelques points. Comme nous le disions précédemment, les inventeurs de la cuite dans le vide cuisaient avec tout le vide que pouvait fournir l'appareil. La masse était alors plus froide, mais l'équilibre de pression de vapeur et de vide dans l'appareil existait toujours, avec cette seule différence que, le vide restant constant, seule la pression de la vapeur devait varier pour maintenir une ébullition constante, tandis que dans le procédé décrit par Leluy, pression de vapeur et vide varient à tout moment. Mais un point plus important encore est celui de l'alimentation. En effet, avec une masse chaude, on doit alimenter avec des sirops légers, tandis que si la masse est plus froide rien n'empêche de nourrir le grain avec des sirops denses, comme nous le verrons plus loin. C'est ainsi que dans les différentes fabriques françaises montées avec les nouveaux perfectionnements apportés à l'évaporation et à la cuite par Rillieux, où la cuite se fait à basse pression, on alimente avec des sirops à 25 et 30° sans aucun embarras, produisant ainsi le grain ordinaire des marchés de sucre sans aucune difficulté. Or, alimenter avec des sirops denses, offre un grand avantage économique. C'est qu'en effet l'évaporation dans la chaudière à cuire est à simple effet, tandis que si elle est effectuée aussi loin que possible à triple-effet, on n'emploie qu'un tiers de la vapeur nécessaire dans le premier cas pour cette opération, ce qui représente une somme assez élevée à la fin de la campagne. Tout est donc en faveur de la cuite à grand vide et basse pression, sauf un seul cas, celui où l'on fait usage de chaudières à très haute calandre. Alors, il devient impossible de cuire avec de la vapeur à moins d'une atmo-

sphère ; car, si l'on suppose au-dessus du serpentín du milieu, pris comme moyenne, une hauteur de masse de 6 mètres par exemple, dont la densité est 1,42, la vapeur qui se formera sur ce serpentín aura à soulever pour s'échapper une pression d'une atmosphère. Il faudra donc déjà dans ce serpentín plus d'une atmosphère de pression pour fournir la quantité de chaleur nécessaire à l'ébullition ; à plus forte raison pour celui du dessous. Dans ce cas seul, il faut abandonner toute idée de cuire autrement qu'à vapeur directe ; mais dans tous les autres cas, ce sera un véritable progrès de cuire avec le maximum de vide et le minimum de pression dans les serpentíns. D'ailleurs les chaudières à haute calandre sont par cela même condamnables, le sucre s'y brûlant inévitablement, à cause de la haute température à laquelle on est obligé de cuire.

Lorsque la cuite est achevée, le cuiseur ferme l'eau du condenseur, donne ordre à son mécanicien d'arrêter la pompe, *casse le vide* en ouvrant le robinet spécial à cet usage, et lorsque le bruit strident de la rentrée de l'air devient moins violent, il ouvre lentement la soupape de sa chaudière. Une petite rentrée d'air immédiate casse la croûte de cristaux accumulés, puis la masse tombe dans une gouttière large et peu profonde qui la conduit dans les bacs d'empli.

§ 4. — Phénomènes qui se passent pendant la cuite.

Nous avons vu, à propos de l'évaporation, que chaque liquide sucré de densité différente a un point d'ébullition différent, d'autant plus élevé que la concentration est plus grande. D'après le degré d'ébullition on peut donc se rendre compte du degré de concentration d'un sirop.

Nous avons vu aussi que, sous le vide, la température d'ébullition était diminuée de toute celle dont était diminuée la température de l'eau bouillant sous le même vide. Ainsi, si sous un certain vide l'eau bout à 65°, soit 33° de moins que 100, le sirop bouera à une température plus basse de 35° que son point d'ébullition normale.

Si donc un thermomètre plonge dans la masse cuite, en ajoutant à ses indications la différence d'ébullition de l'eau sous le vide correspondant, on aura la température d'ébullition de la masse cuite dans l'air, et, d'après la courbe que nous avons établie, sa concentration.

Supposons donc une masse cuite bouillant sous un vide constant. Au moment de la charge du pied de cuite si on lit la température, on verra que cette température monte avec la concentration. Si l'on fait une charge à ce moment pour former le grain, le thermomètre descend parce que la masse est plus diluée, puis remonte au point primitif.

Si donc l'on a déterminé d'avance le point d'ébullition le meilleur pour le grainage, il suffira après chaque charge de concentrer jusqu'à ce que le thermomètre marque ce point, et de recommencer à ce moment une nouvelle charge. De même lorsqu'on en sera à l'alimentation continue, il suffira de suivre le thermomètre pour régler le robinet d'alimentation de manière à ce que la température ne bouge pas, et l'on sera certain de se maintenir toujours à la concentration voulue, c'est-à-dire à la teneur en eau dans la cuite la plus favorable à la nutrition du grain.

Mais un autre phénomène se passe parallèlement à celui-là, et qui provient de la chute de température entre le sirop en ébullition et la vapeur de chauffage.

Si l'on suppose constante la température de la vapeur, cette chute est variable comme la température d'ébullition du sirop, et inversement à cette température. Il en résulte que l'évaporation très forte au début est faible à la fin, lorsque le sirop est concentré.

La conséquence de ce fait est celle-ci en pratique. Le condenseur de la cuite ne donnant que la quantité d'eau nécessaire pour produire un vide déterminé dans la chaudière, à chaque charge, l'ébullition étant augmentée, le condenseur s'échauffe et le vide baisse. Puis il remonte quand la concentration est devenue normale.

Par conséquent l'indicateur de vide est comme le thermomètre le témoin des variations de composition de la masse cuite.

Autre chose encore. Si la vapeur de chauffage arrive dans le collecteur par une section étranglée, par un robinet réglé par exemple, lorsque l'on fait une charge, la condensation étant considérable, la pression baisse dans le collecteur parce que l'afflux de vapeur n'est plus suffisant, et reprend sa normale quand la concentration est redevenue normale.

Nous avons donc trois variables dans les éléments physiques de la cuite, la pression de la vapeur de chauffage, la température de la cuite, et le vide dans l'appareil. Un cuiseur expérimenté, en suivant de l'œil ces trois variables sait exactement tout ce qui se passe dans sa chaudière, sans avoir même besoin de regarder sur la glace comment bout sa masse cuite. En surveillant son grain à la sonde et suivant ses trois indicateurs, il sait tout ce qu'il lui est besoin de connaître pour bien marcher.

D'ailleurs le travail de Leluy que nous avons donné précédemment sur la manière pratique de conduire la cuite explique admirablement le profit que l'on peut tirer de ces indications. Mais dans ce temps on négligeait l'emploi du thermomètre, se basant surtout sur les manomètres, et c'était un tort.

Un autrichien, J. Curin a imaginé un appareil qu'il a nommé *Brasmoscope* ou *Ebulliodensimètre* qui permet, par une simple lecture, de connaître la différence d'ébullition de masse cuite et de l'eau, quel que soit le vide sous lequel on se trouve, et par conséquent de connaître ainsi la densité de la masse cuite à tous moments.

L'appareil se compose d'une planchette sur laquelle sont réunis le thermomètre qui plonge dans la masse et un manomètre à mercure à deux branches donnant le vide dans l'appareil. Quand le vide augmente, le mercure baisse dans la branche à air libre. Mais en même temps la température de la masse baisse également. Si donc on relie entre eux par des traits les degrés du thermomètre avec les degrés du baromètre correspondant à la tension de la vapeur d'eau à ces différentes températures d'après les tables de Regnault, lorsque l'on fera bouillir de l'eau dans l'appareil le thermomètre et le baromètre se suivront exactement.

Mais comme nous avons du sirop dans la chaudière, le thermomètre sera toujours plus haut que le trait correspondant du baromètre. Curin a mis entre le thermomètre et le baromètre un curseur qui est divisé comme le thermomètre. Si on met son 0 au niveau du mercure du manomètre on lit immédiatement en face du mercure du thermomètre la différence d'ébullition de l'eau et du sirop, c'est-à-dire ce que l'on cherche à savoir.

Le curseur porte en face de chacun de ses degrés la densité de la masse ou plutôt de l'eau mère, en sorte que le cuiseur sait immédiatement à la simple lecture à quel degré de concentration il en est. De sorte que si l'on veut cuire à 10 % d'eau par exemple, il suffira de régler son curseur pour cette concentration et maintenir sans cesse son vide et sa vapeur de manière à ce que thermomètre et manomètre marquent toujours la différence correspond à cette composition.

C'est donc un appareil très recommandable.

§ 5. — Appareil à cuire automatique de Delavierre (fig. 149.)

J. Delavierre s'inspirant des mêmes principes a cherché plus loin. Il a voulu rendre automatique la marche de l'appareil à cuire en profitant des variations du vide au-dessus de la masse, et de la pression dans le collecteur de vapeur pour agir sur des soupapes d'alimentation de jus et de vapeur.

Il commence par rendre le vide constant agissant sur le robinet d'eau d'injection dans le condenseur par un régulateur automatique.

Le vide étant constant, sur les trois variables dont nous parlions pré-

cédemment il n'y a plus que la température de la cuite et la pression de la vapeur de chauffage. Mais nous avons vu que la pression de la vapeur de chauffage varie elle-même avec la température de la cuite, diminuant quand la température augmente et vice versa.

La pression dans le collecteur de vapeur est donc le témoin suffisant pour connaître la température de la cuite. Or celle-ci augmente quand la concentration du sirop augmente. Donc il suffira que la soupape d'alimentation s'ouvre automatiquement sous l'influence de cette augmenta-

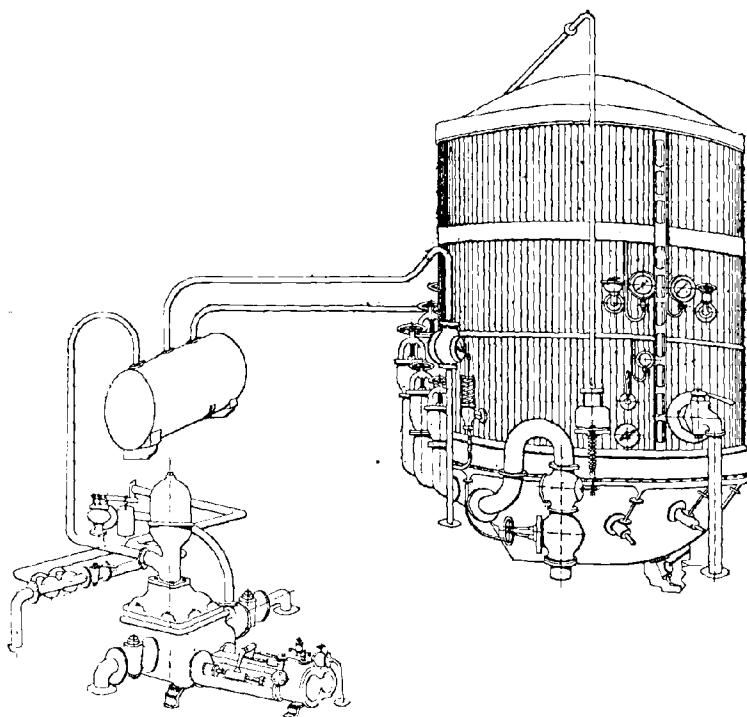


Fig. 149

tion de pression pour que la température de la cuite baisse à nouveau et que la pression dans le collecteur reprenne sa valeur primitive. D'autre part la pression baisse dans le collecteur quand l'alimentation de sirop a été trop forte ; dans ce cas un régulateur automatique peut ouvrir l'admission de vapeur jusqu'à ce que la pression soit redevenue normale.

Avec ces trois soupapes automatiques bien réglées, toutes les phases de la cuite sont bien réglées elles-mêmes, quelle que soit la nature du

sirop, puisque si à la place de sirop normal on envoie un égout par exemple, son évaporation sera plus lente que celle du sirop; par conséquent, dans ce cas spécial, la charge sera longue, la masse se refroidira et la vapeur s'ouvrira seule, opérations nécessaires pour l'évaporation de ce liquide et que ne manquerait pas de faire un cuiseur expérimenté.

Telles sont les conditions de marche de l'appareil Delavierre qui présente d'autres particularités intéressantes.

Dans les chaudières verticales l'alimentation se fait par un tuyau plongeant dans la masse. C'est très mauvais parce que le mélange de la masse et du sirop ne se fait qu'en un point, à l'entour du tuyau d'injection, le reste de la masse ne profitant pas de la charge. Delavierre remédie à cette mauvaise construction en faisant l'alimentation tout autour de la chaudière par quinze injecteurs, dont quatre tout à fait dans le fond et onze autres sur le pourtour au niveau du premier serpentín. Ces injecteurs sont d'un petit diamètre, tous réunis ensemble par un collecteur. C'est une pompe qui refoule le sirop dans le collecteur sous une pression qui peut varier de 1 à 5 kilogrammes. Par conséquent le sirop n'est pas aspiré comme à l'ordinaire, mais projeté violemment en quinze points différents de la masse qu'il pénètre profondément. Il y a donc toute chance pour que le mélange se fasse dans de bonnes conditions.

La pompe elle-même refoule le sirop dans un réservoir, sous une pression de huit atmosphères, en quantité beaucoup plus grande que ne demande l'alimentation. Mais une soupape de décharge fait retourner l'excédent au bac à sirop. C'est en agissant automatiquement sur cette soupape de décharge que l'on règle l'alimentation, attendu que si la soupape est ouverte en plein on n'alimente pas, et que l'alimentation est proportionnelle à la pression dans le ballon.

Tels sont les principes de cet appareil fort intéressant et fort bien conçu. Nous ne décrirons pas autrement ses organes car il faudrait des dessins pour les faire comprendre. Mais cette démonstration est suffisante pour attirer l'attention de nos lecteurs comme il convient sur cet outil vraiment remarquable.

CHAPITRE II

LA CRISTALLISATION EN MOUVEMENT

§ 1. — Historique.

Il est une pratique connue de toute antiquité pour faire cristalliser une dissolution de sucre, c'est de l'agiter pendant sa concentration.

Les peuplades sauvages ont su de tout temps préparer ce que nous appelons des *concrets*, en évaporant sur le feu le jus de la canne, et, au moment où il est concentré à point, en le soumettant à un mouvage prolongé, jusqu'à ce que le tout, au lieu de se prendre en masse, se concrète en morceaux dont ils se servent ensuite comme édulcorants.

Dans l'art du confiseur ces méthodes sont d'ailleurs en usage.

En sucrerie de betterave, la cristallisation provoquée par le mouvement a été employée depuis longtemps. Dans son livre de *l'art de fabriquer le sucre de betteraves* de 1825, Dubrunfaut dit :

« Une dissolution de sucre est précisément dans la classe des substances cristallisables par le refroidissement, dans lesquelles le *mouvement* et l'aéragé peuvent développer et augmenter la cristallisation. »

En 1877 Flourens en faisait mention dans son *Étude sur la cristallisation du sucre*, et dans notre *Traité de la Fabrication du sucre* de 1882 nous rappelions le procédé proposé par Méhay qui consiste « à exercer un mouvage violent sur la cuite au moyen d'une machine dans le bac d'empli, depuis le moment où elle y tombe, jusqu'à ce qu'elle arrive au refroidissement, c'est-à-dire à la température de 30 à 40° de la chambre des emplis. Le grain se forme dans ce cas très rapidement. »

Enfin de nos jours Bock, Huck et Lauke, Steffen et Røymaeckers, et d'autres ont repris tour à tour le même ordre d'idées en le régularisant ou l'adaptant aux cas particuliers du travail de sucrerie, se servant pour cela de l'outil si bien imaginé par Bocquin et Lipchinsky plus ou moins modifié.

Telle est la genèse du procédé de la cristallisation en mouvement qui a bouleversé depuis quelques années nos antiques ateliers de cuite et de turbinage.

La théorie n'en est pas encore complètement faite. Nous allons cher-

cher à démêler, parmi les nombreux phénomènes qui s'y passent, ceux qui peuvent nous éclairer sur sa marche, et, nous appuyant sur ce que nous a appris la pratique, essayer d'établir des règles pour le nouveau mode de travail.

§ 2. — Phénomènes thermiques.

Il est naturel de se demander la cause de cette résistance des liquides sucrés à la cristallisation, et la raison pour laquelle le *mouvement* est capable de vaincre cette résistance.

Flourens, dans ses *Études sur la cristallisation du sucre* (1877), s'exprime ainsi :

« On remarque, lorsque l'on pousse très loin la concentration des sirops, quand la masse bouillante marque 130 ou 140°, que l'on obtient du sucre d'orge par le refroidissement, parce que *le milieu est trop épais pour que les cristaux puissent se former*. Mais si l'on soumet la masse à l'agitation en la délayant avec une spatule, elle devient de plus en plus épaisse en se refroidissant, puis elle cristallise progressivement jusqu'à ce qu'elle se réduise en poudre, et l'on constate qu'à ce moment il se produit un *dégagement assez abondant de vapeur*, que l'on peut supposer être dû à la mise en liberté de la chaleur latente qui constitue le sucre à l'état de sucre d'orge comme le prétend Dumas. »

Ce dégagement de chaleur au moment de la cristallisation d'un sirop a été remarqué par de nombreux observateurs.

Lorsque l'on a coulé la cuite dans un malaxeur et qu'on le refroidit au moyen d'un courant d'eau dans l'enveloppe extérieure, on s'aperçoit qu'au moment où la masse s'épaissit, la température de l'eau dans la double-enveloppe s'élève.

D'autre part Aulard a fait voir en 1892 que si l'on met des thermomètres dans les caisses Schutzenbach, pendant que la masse se refroidit sur la périphérie, la température monte vers le centre au delà de la température de coulée pour redescendre ensuite.

Dans un autre ordre d'idées nous pouvons examiner ce qui se passe dans la dissolution du sucre dans l'eau.

Quand on dissout une substance quelconque dans l'eau, il y a abaissement de la température du liquide s'il ne se forme aucune combinaison du corps avec l'eau, et élévation de température s'il y a au contraire combinaison.

La loi est générale si l'on ne dépasse pas un point critique correspondant à un certain degré de dilution spécial à chaque corps.

Ainsi la dissolution de 25 grammes de sucre dans 100 d'eau abaisse à peine la température du liquide de 0°,4 environ, tandis que dans les mêmes proportions le sulfate de soude fait descendre le thermomètre de 7 à 8°.

La cristallisation étant le contraire de la dissolution, et celle-ci absorbant de la chaleur, la cristallisation doit naturellement en dégager, aussi la cristallisation spontanée du sucre dégage-t-elle beaucoup moins de calories que celle du sulfate de soude.

Car si l'on envisage le dégagement de chaleur comme la résultante des actions mécaniques dues à la transformation d'un corps amorphe en corps cristallin, c'est-à-dire à l'effort nécessaire pour la réunion et la soudure des molécules dispersées de ce corps pour en faire un cristal, il est évident que le sulfate de soude renferme en soi une énergie potentielle vingt fois plus grande que celle du sucre, énergie qui se manifeste et devient actuelle sous l'influence de l'amorce qui provoque la cristallisation.

Champion et Pellet ont comparé les phénomènes de sursaturation à ceux qui se passent dans les explosifs, le mot *amorce* ayant le même sens de part et d'autre. Prenant la même image, nous dirons que le sulfate de soude peut se comparer à une poudre brisante, tandis que le sucre serait analogue à une poudre à combustion progressive.

§ 3. — Sursaturation.

Nous sommes amenés ainsi naturellement à étudier la sursaturation des solutions sucrées.

On a attribué avec raison la difficulté de cristallisation des sirops à leur état de *sursaturation*. Mais tandis que certains sels comme le sulfate de soude passent presque instantanément de l'état liquide sursaturé à l'état de cristaux avec dégagement de chaleur, le même phénomène est beaucoup plus lent avec le sucre, et le dégagement de chaleur ne se produit que quand déjà une grande quantité de cristaux s'est formée.

L'étude de la sursaturation des liquides a préoccupé beaucoup les savants. Nous venons de citer ce qu'a écrit Dubrunfaut en 1825 « Le « sucre est dans la classe des substances cristallisables par le refroidissement dans lesquelles *le mouvement et l'aérage* peuvent développer « et augmenter la cristallisation. »

Si nous comparons cette observation à celles de Violette et de Gernez qui disent que la sursaturation cesse subitement dans les dissolutions salines dans lesquelles on insuffle de l'air non filtré à cause de la présence de cristaux de ces mêmes sels dans l'atmosphère, cela nous expli-

quera facilement pourquoi l'*aéragé* est préconisé par Dubrunfaut et tous les raffineurs d'alors comme moyen d'accélérer la cristallisation du liquide sursaturé.

Quant au mouvement il est favorable à la cristallisation pour le même motif, soit mettre les cristaux formés en contact avec de nouvelles quantités de liquide sursaturé.

Lecoq de Boisbaudran, dans ses études sur les liquides sursaturés fait remarquer l'attraction que les cristaux exercent sur les molécules liquides voisines, et il dit que « le rôle principal de cette attraction est de retenir les molécules similaires existant déjà au sein du liquide et qui, par suite de la similitude de leurs formes et de leurs grandeurs, sont aptes à se fixer sur le réseau du cristal et à le continuer. »

C'est pourquoi le sucre cristallise seul dans des dissolutions contenant des sels en quantité relativement faible par rapport à celle du sucre, les cristaux de sucrosels ayant moins de tendance à se former que les cristaux de sucre, en présence de l'attraction des molécules sucrées par un cristal de sucre déjà formé.

Dubrunfaut a émis l'idée en 1869, que le sucre, aussi bien que le glucose, se trouvent au sein de leur dissolution à l'état amorphe, état physique distinct de l'état cristallin, et différent par leur chaleur interne, cause de l'élévation de température au moment de la cristallisation.

Le sucre serait donc amorphe dans le sucre fondu (sucre d'orge) et dans ses dissolutions, et plus soluble à cet état qu'à l'état cristallisé. Cette différence de solubilité de deux états physiques distincts constituerait le phénomène que l'on nomme à tort, selon Dubrunfaut, la *sursaturation*. Le phénomène de la sursaturation n'existerait pas, il y aurait uniquement saturation de l'eau par un corps ayant une constitution physique différente de celui qu'on obtient sous l'influence d'une amorce cristalline. Et nous pourrions ajouter que de même que le sucre d'orge redevient cristallin quand on l'expose à l'air, de même la solution de sucre amorphe cristallise sous l'influence de l'aéragé, c'est-à-dire de l'amorce.

Ces idées de Dubrunfaut furent mises en doute à l'époque par Lecoq de Boisbaudran. Mais depuis elles ont repris une nouvelle faveur, et semblent généralement adoptées aujourd'hui.

L'amorce et l'agitation auraient donc pour rôle de changer l'état physique du corps dissout, c'est-à-dire lui fournir le moyen, par attraction et rapprochement moléculaire, de dégager l'excès de chaleur interne qui le retient amorphe.

Nous avons vu dans la citation d'un passage du livre de Flourens que telle est aussi l'opinion de Dumas.

Plusieurs causes concourent à produire la sursaturation des sirops de sucre, telles que la présence de *matières salines* hygrométriques, et la *viscosité* du liquide qui empêchent les cristaux de l'amorce d'atteindre les dernières molécules du sucre en dissolution sursaturée, c'est-à-dire amorphes. Il en résulte que les sirops concentrés sont sursaturés, à cause de la *viscosité* qu'ils possèdent, et le seul moyen d'obtenir des sirops concentrés non sursaturés, c'est de faire cette concentration en présence de cristaux qui maintiennent toujours le sucre en dissolution à son état physique normal.

Cependant il y a un autre moyen indiqué par Claassen pour diminuer la sursaturation, c'est d'introduire dans les sirops sursaturés assez d'égouts pauvres pour abaisser leur pureté à 70. Claassen a en effet constaté que les sirops à 70 de pureté ne se sursaturent que très peu. C'est pourquoi les rentrées d'égout bien entendues peuvent amener des cristallisations abondantes en faisant cesser la sursaturation d'un sirop plus pur.

Nous reviendrons tout à l'heure sur ces phénomènes dus à la viscosité.

§ 4. — Influence des sels.

En 1875 Champion et Pellet ont montré que l'addition de certains sels ou corps étrangers liquides à une dissolution sursaturée de sulfate de soude retardait la formation des cristaux. Ainsi les sels suivants provoquent un retard de plus en plus grand dans l'ordre de leur énonciation : chlorure de sodium, azotate de potasse, carbonate de soude, sulfate d'ammoniaque. Les expériences de Lagrange (1876) sur le pouvoir mélassigène des sels, classent ceux-ci à peu près dans le même ordre.

Durin, la même année, faisait remarquer que les chlorures sont plus solubles dans l'eau sucrée que dans l'eau pure, et que, réciproquement, le sucre est plus soluble dans l'eau chargée de ces sels qui ont la propriété de pouvoir cristalliser en même temps que lui, n'entravant pas du tout sa cristallisation.

Le nitrate de potasse diminue la solubilité du sucre ; le sulfate de potasse également. Le chlorure de calcium en petite quantité favorise la cristallisation du sucre, mais en grande quantité il rend le sirop visqueux et entrave la cristallisation. Il en est de même du carbonate de potasse et autres sels déliquescents.

Durin conclut que seuls les sels déliquescents et les matières organiques sont mélassigènes, tandis que les autres sels ne le sont pas.

D'ailleurs il faut bien observer que le but du travail en sucrerie étant d'extraire le sucre de ses dissolutions à l'état cristallisé, il est impossi-

ble d'arriver à mettre à l'état de cristaux tout le sucre dissout, car l'eau qui reste dans les eaux-mères retient forcément une certaine quantité de saccharose ; et comme la dessiccation complète des produits est impossible en tant que moyen d'extraction du sucre, le sucre est lui-même mélassigène pour la quantité qui peut se dissoudre dans l'eau retenue par les sels et matières organiques. C'est pourquoi, même en faisant cristalliser du sucre pur, on n'obtient jamais tout le sucre refondu à l'état de cristaux.

La nécessité où l'on est de laisser dans la cuite 6 à 8 % d'eau, indique la quantité de sucre qui restera dans les égouts.

Mais pour laisser dans les égouts le moins de sucre possible, il faudra que cette dissolution soit saturée et non sursaturée, en prenant comme terme de calcul de saturation l'eau réellement libre dans la dissolution et non celle retenue par la constitution des sels.

Degener en effet a fait remarquer en 1886 que lorsqu'il y a dans une dissolution plusieurs substances ayant la même affinité pour l'eau, elles peuvent dans certaines circonstances s'empêcher de cristalliser réciproquement, quoique, isolément, elles puissent facilement cristalliser dans cette quantité de liquide. Ainsi, 110 de sucre et 38 à 40 de chlorure de calcium dans 50 d'eau, ne cristallisent pas au bout de plusieurs années, tandis que, en ajoutant un peu d'eau et de chlorure de calcium, ce dernier cristallise ; au contraire en mettant un peu moins de chlorure c'est le sucre qui entre en cristallisation.

Une solution de 100 de sucre dans 50 d'eau ne cristallise pas rapidement ; tandis que l'addition de chlorure de calcium sec fait cristalliser du sucre, parce que probablement il s'empare d'une quantité d'eau correspondant à son hygrométrie. Degener fait remarquer que l'on pourrait croire dans ces circonstances à une sursaturation, tandis qu'il n'en est rien, puisque l'eau n'est sursaturée ni pour le sucre ni pour le chlorure.

D'autre part la mélasse qui contient 50 de sucre pour 20 d'eau est sursaturée par rapport au sucre, mais les 30 % de non-sucre dissout empêchent la précipitation du sucre. Le mécanisme qui entrave la cristallisation n'est pas le même ici que pour le chlorure de calcium.

Degener compare ce phénomène à celui qui se passe dans les alliages, dans lesquels l'addition de petites portions d'un métal change profondément le point de fusion de chacun des métaux mélangés.

Il ajoute qu'il est connu que le sucroset formé avec Na Cl n'entrave pas la cristallisation parce qu'il est moins soluble que le sucre, tandis que le sucroset formé avec KCl arrête la cristallisation à cause de sa très grande solubilité. Il en est de même avec le nitrate de potasse.

Mais ces sels sont bien moins abondants que les sels organiques. Or les sels de potasse organiques entravent tous la cristallisation, tandis que ceux de soude sont sans effet. Aussi remarque-t-on que si l'on sature une dissolution de sel organique de potasse avec du sucre, celui-ci se dissout en plus grande quantité que ne comporte la saturation de l'eau en présence. Il se forme probablement des sucrosels, car les chiffres appelés *coefficients mélassigènes* d'un sel correspondent parfaitement à ceux qui représenteraient le sucrosel. Le sucro-acétate de potasse est typique sous ce rapport. L'acide carbonique et l'acide aspartique donnent des résultats analogues. Ces sels doubles sont plus solubles dans l'eau que le sucre et le sel en présence.

Au contraire les mêmes sels de soude sont moins solubles, et favorisent la précipitation du sucre. Il en est de même de beaucoup de sels de chaux et surtout de magnésie.

Certains corps, organates de potasse, divers sucres, la glycérine, la dextrine, retiennent énergiquement les dernières parties d'eau de dissolution, et rendent les solutions visqueuses.

Mais le sucre lui-même, comme nous le disions antérieurement, est mélassigène. Degener fait remarquer que son pouvoir rotatoire diminue avec la concentration pour devenir 0 à l'état de siccité.

Il admet que dans ces différents états il se forme des hydrates qui, dans les solutions concentrées, retiennent leur eau avec énergie, d'où vient la *viscosité*. L'alcool ajouté à de telles solutions rompt l'équilibre des hydrates et le sucre se précipite. L'élévation de température et l'addition d'une amorce sont d'autres moyens de détruire ces hydrates.

Enfin Degener fait remarquer que parmi les matières mélassigènes il y en a qui agissent *mécaniquement*, parce qu'elles ne représentent pas une dissolution proprement dite ; elles se gonflent en fixant jusqu'à 200 fois leur poids d'eau sans devenir liquides. Tels sont certains ferments comme le *leuconostoc mesenteroides* qui transforme les jus en gelée.

Degener conclut que la chaleur et le mouvement sont les meilleurs moyens d'accélérer la cristallisation en détruisant, mélangeant les *zones* qui entourent chaque cristal enrobé par ces liquides visqueux, et favorisant les *courants osmotiques* qui peuvent se former de l'un à l'autre.

§ 5. — Viscosité.

Nous venons de passer en revue les opinions de différents auteurs, et, qu'on se place au point de vue thermique ou au point de vue chimique, on en revient toujours à la *viscosité* comme cause de la difficulté de la cristallisation du sucre.

Flourens dit : « le milieu est trop épais pour que les cristaux puissent se former » ; Durin émet la même cause pour expliquer le pouvoir mélasigène du chlorure de calcium et des sels déliquescents en général ; Degener conclut de la même manière.

Il faut donc, pour qu'un liquide sucré cristallise, atténuer autant que possible l'action de cette viscosité.

La condition première, et qu'il est à peine besoin d'énoncer, c'est un bon travail d'extraction et de défécation des jus. L'acide sulfureux, et surtout l'acide hydrosulfureux, sont des adjuvants précieux, les solutions des sulfites étant moins visqueuses que celles des carbonates correspondants. L'élévation de température est toute indiquée aussi, la viscosité diminuant dans ces conditions.

Au point de vue de la marche de la cuite, remarquons que, pendant l'accroissement du grain, l'eau-mère devenant moins pure est de plus en plus visqueuse. Par conséquent les charges successives pendant la cuite se font dans un milieu de moins en moins propre à la cristallisation.

Ceci explique pourquoi les charges, même un peu fortes, en fin de cuite ne font pas de grain nouveau, nourrissant seulement le grain existant. Et aussi pourquoi l'on peut charger avec du sirop épais en cours de cuite sans crainte de faire du grain fin, la densité élevée du sirop augmentant sa viscosité.

Lorsque le grain est bien formé, le talent du cuiseur est donc de n'introduire les charges que de telle manière que le sirop nouveau ne diminue pas la viscosité de l'eau-mère qui enrobe le cristal, tenant sa cuite froide ou chaude suivant la nature du sirop, puisque l'abaissement de la température augmente la viscosité, et réciproquement.

De même la température des emplis doit être proportionnée à la viscosité des sirops qu'on y coule, et d'autant plus élevée que les produits sont moins purs, plus visqueux.

Il est utile de dire maintenant quelques mots de théorie sur la viscosité, cette propriété étant l'un des grands facteurs de la cristallisation du sucre.

La *viscosité* est une des formes sous lesquelles se présente le phénomène de la capillarité.

Dans le cas qui nous occupe, la viscosité aura pour effet d'empêcher les molécules sucrées contenues dans le liquide de s'approcher de la surface solide qui est celle du cristal amorce. Et pour que ce rapprochement ait lieu, il faudra que la force attractive particulière du cristal pour la molécule sucrée soit plus grande que la *tension superficielle* du liquide visqueux, qui repousse à l'intérieur du liquide les molécules qui

s'approchent de la superficie. C'est la lutte entre ces deux forces antagonistes qui produit l'élévation de température à la cristallisation. La cristallisation sera donc d'autant plus facile que la tension superficielle du liquide qui mouille les cristaux-amorces sera plus faible.

La tension superficielle des liquides se constate au moyen du même appareil que la viscosité, car elles constituent l'une et l'autre le même phénomène, c'est-à-dire au moyen du compte-gouttes. Donc toutes les tables donnant la viscosité et celles donnant la tension superficielle sont concordantes. Or il est à remarquer que les tables de viscosité ne concordent pas avec le pouvoir mélassigène des sels. Ainsi tandis que les sels de soude sont reconnus comme moins mélassigènes que les sels de potasse, au contraire les sels de soude donnent des solutions plus visqueuses que ceux de potasse.

Il faut donc se garder de confondre les deux propriétés, dont l'une, la mélassigénéité, est chimique et l'autre, la viscosité, est d'ordre uniquement physique.

Plusieurs lois physiques concourent à l'effort négatif plus ou moins grand de la viscosité. Ainsi deux molécules s'attirent proportionnellement à leurs masses, et aussi proportionnellement à une fonction de leur distance mutuelle, propre à chaque espèce de molécule, très petite, et qui décroît très rapidement avec la distance. On voit là la raison pour laquelle les masses sucrées au repos se désucrent lentement, et l'explication de l'efficacité du mouvement qui rapproche sans cesse les cristaux de sucre de centres non désuqués.

La tension superficielle des liquides provoquant une pression correspondante des couches les plus rapprochées de cette superficie, la rupture de cette tension, connue dans la cristallisation spontanée du sulfate de soude par exemple, se traduira par une manifestation calorifique. D'autre part toute molécule qui s'échappe de la couche superficielle produit un travail égal et de signe contraire à la tension correspondante du liquide. La différence de température qui doit provenir de ce travail peut se calculer connaissant la valeur exacte de cette tension superficielle.

La température fait varier la tension superficielle des liquides. La tension décroît lorsque la température augmente, le liquide se rapprochant de l'état de fluide parfait avec l'augmentation de température.

Ainsi Wolf a donné comme tension superficielle de l'eau f , en fonction de la température t la formule parabolique :

$$f = 7,758 - 0,01597 t - 0,00002312 t^2$$

le nombre 7.758 étant la tension superficielle de l'eau à 0 exprimée en millimètres-milligrammes. Cette formule nous permettrait au besoin de

calculer les données du problème thermique de la viscosité des liquides sucrés, connaissant la constante capillaire de ces liquides.

Enfin rappelons que les phénomènes de diffusion et d'osmose rentrent dans le même ordre des actions capillaires, et qu'ils jouent aussi leur rôle dans les faits qui nous occupent et qui sont fort complexes par conséquent.

Que se passe-t-il lorsque nous sommes en présence d'une solution sucrée, visqueuse par ses impuretés normales, et contenant des cristaux de sucre.

Chaque molécule sucrée de la solution, occupant dans le liquide une position très rapprochée d'un cristal, tâche de se réunir au cristal en vertu de « la similitude de leurs formes et de leurs grandeurs » comme le dit Lecoq de Boisbaudran. Si la tension superficielle du liquide n'est pas plus grande que l'attraction moléculaire du solide, la molécule sucrée traverse la membrane liquide et s'attache au cristal, ce travail dégageant le nombre de calories correspondant au degré de viscosité du liquide.

Mais la disparition successive des molécules sucrées rend le liquide de plus en plus impur et visqueux. Le travail est de plus en plus considérable, l'élévation de température est de plus en plus grande et devient apparente au bout d'un certain temps que nous verrons plus loin mesuré par les expériences de Claassen.

A un certain moment la viscosité fera équilibre à la force attractive du cristal, et celui-ci ne se nourrira plus.

Il semblerait que le moyen le plus simple d'augmenter l'épuisement d'un sirop serait de le concentrer davantage. Dans ce cas, en effet, les molécules sucre seraient plus rapprochées et l'action attractive du cristal plus effective.

Le fait est vrai. Une cuite à 6 % d'eau rend plus qu'une cuite à 10 %. Seulement la concentration augmente la viscosité, et l'on tombe d'un mal dans un pire.

Les solutions non concentrées ne s'épuisent pas, parce que le phénomène de diffusion des molécules sucrées dans le liquide, lequel constitue la dissolution, représente une force qui fait équilibre à l'attraction moléculaire du cristal-amorce.

On a tourné la difficulté au moyen d'un artifice qui est appliqué dans tous les systèmes de cristallisation. On a remplacé l'eau indispensable pour délayer la masse par un liquide inerte. De la sorte on peut évaporer la majeure partie de l'eau qui dissout le sucre, et celui-ci se trouvant délayé dans une matière inerte est plus facilement attiré par l'amorce.

La matière inerte employée est la mélasse incristallisable. Si à un

sirop on ajoute de la mélasse, et que l'on concentre le tout au point tel que le non-sucre total soit dans le même rapport avec l'eau que celui où il se trouve dans la mélasse, on a un liquide très sucré, fluide et tel que les cristaux-amorces pourront le désucre au même point que celui de la mélasse de délayage. C'est là le principe du procédé Steffen-Raymaeckers sur lequel nous reviendrons tout à l'heure, et de tous les autres procédés de rentrée d'égout.

Cet artifice ressemble un peu à celui que l'on emploie dans les laboratoires pour dessécher à l'étuve les matières visqueuses et y doser l'eau. La viscosité empêchant la dessiccation, on ajoute au produit des matières inertes, sable, pierre-ponce ou même papier; on divise ainsi les matières visqueuses à l'infini et l'on parvient ainsi à les dessécher. Nous faisons de même dans la cuite; nous écartons les molécules sucrées des molécules visqueuses par un liquide qui ne joue aucun rôle dans la cristallisation et nous extrayons le sucre plus aisément. On emploie la mélasse faute de mieux. Pésier employait jadis l'alcool jusqu'au moment où se formait une légère précipitation de sucre qui servait d'amorce, et par l'agitation arrivait à la cristallisation totale. Le phénomène était le même.

§ 6. — Études de Claassen.

Le Dr H. Claassen a fait en 1897 une étude très remarquable sur la cristallisation du sucre, travail d'usine et de laboratoire qui est un précieux document pour la pratique de la cuite et de la cristallisation en mouvement.

Claassen a prélevé des échantillons sur une série de masses-cuites, à chaque instant de la marche, en a extrait le sucre et l'eau-mère, a analysé celle-ci, et réunissant toutes ces données en tableaux, a permis d'en tirer d'utiles conclusions. Il en a fait de même de la cristallisation en mouvement avec et sans réfrigération.

Claassen a remarqué que les sirops arrivant à la cuite sont tous sursaturés. Le maximum qu'il ait observé est de 60 %, c'est-à-dire que si 100 de sucre représentent l'état de saturation d'un sirop, ce même sirop sursaturé contiendra 160 de sucre.

Les sirops épuisés de sucre par l'action des cristaux en présence sont presque complètement désursaturés (1 % minimum); les charges successives amenant toujours des sirops sursaturés on conçoit qu'il soit impossible d'arriver à la désursaturation complète.

À la fin de la cuite, les eaux-mères, sont plus sursaturées qu'au milieu à cause de la viscosité plus grande qu'elles possèdent.

Claassen a fait aussi une observation très importante qui concorde avec les pratiques préconisées dans ces dernières années pour la cuite.

Une cuite menée rapidement abandonne moins de sucre en cristaux qu'une cuite lente.

Le coefficient de sursaturation de l'égout est inversement proportionnel au temps employé par la cuite, corollaire de la proposition précédente.

La sursaturation d'un sirop n'est pas raison nécessaire d'une abondante cristallisation. Un sirop sursaturé ne donnera pas plus de cristaux qu'un sirop saturé, seulement on risquera plus facilement de faire du fin grain. La sursaturation est donc loin d'être un avantage.

Les sirops fortement concentrés introduits en charge dans la cuite ne font pas de fin grain à cause de leur plus grande viscosité.

Quand les sirops ont plus de 93 de pureté, il y a avantage à ramener cette pureté à 90 par des rentrées d'égout à la carbonatation pour éviter la formation des grains fins par les charges.

Mais Claassen ajoute que les sirops d'usine qui ont moins de 90 de pureté ne comportent pas la rentrée des égouts à la carbonatation. Nous ne sommes pas tout à fait de son avis, la nature des égouts et non leur pureté pouvant seule indiquer s'il est possible ou non de les rentrer en travail.

Claassen envisage ensuite la cristallisation en mouvement. Il tire de ses tableaux les conséquences suivantes.

La cristallisation la plus rapide a lieu pour les cuites les moins serrées, c'est-à-dire qui ont la plus grande teneur en eau.

Elle a lieu aussi pour celles dont le coefficient de sursaturation est le plus bas (10 % au maximum) et n'augmente pas pendant le travail de cristallisation.

Si la teneur en eau est de 8 % environ on peut refroidir rapidement et fortement les cuites.

Si la teneur en eau est de 6 % environ il faut les couler chaudes, plus de 70°, et on peut alors les refroidir rapidement. Si on les coule au-dessous de 60° le rendement est bien moins bon quel que soit le temps de malaxage.

Si la teneur en eau est élevée, le coefficient de sursaturation n'augmente pas, même avec refroidissement rapide.

Si la teneur en eau est basse, cuites serrées, le coefficient de sursaturation augmente pendant le refroidissement, et cela d'autant plus que la température s'abaisse davantage.

Les sirops à 70 de pureté ne se sursaturent que très peu. (10 % au maximum.)

Le malaxage ne peut pas remplacer la cristallisation dans le vide. Il faut donc cristalliser le plus possible à la cuite, le malaxage n'étant qu'un complément médiocre.

Quand on coule une masse à 6 % d'eau il est absolument préférable d'après ce qui précède, de ramener la teneur en eau à 8 % par introduction d'égout, pour pouvoir refroidir et malaxer le moins longtemps possible.

Une telle pratique ne descend pas la pureté de l'égout au-dessous de 72. Si l'on veut obtenir des égouts pauvres il faut couler serré (6 % d'eau), chaud (80° au moins), malaxer sans refroidir jusqu'à ce que le degré de sursaturation de l'égout soit descendu à 10 %, et à ce moment seulement (la température étant de 70° environ) commencer le refroidissement.

Ne pas descendre en tout cas le refroidissement au-dessous de 50°.

Etant donné que le travail de cristallisation dans le vide est meilleur que dans les cristallisoirs ouverts, Claassen recommande les cuites à mouvement de malaxage intérieur. Seulement dans ce cas on évite difficilement l'élévation de la sursaturation (20 à 30 %) à cause de la rapidité de la concentration.

Il faut donc de très grandes cuites avec mouvement intérieur pour pouvoir évaporer doucement et malaxer longtemps.

Nous pouvons tirer encore d'autres conclusions du travail si intéressant de Claassen, conclusions que l'auteur n'a pas envisagées.

En effet, si l'on dessine sur le papier les courbes représentant le refroidissement des masses cuites dans les malaxeurs d'après les chiffres contenus dans les tableaux donnés par Claassen, on remarque l'infléchissement de ces courbes au moment où, la cristallisation s'opérant, la température s'élève dans la masse, comme nous le disions précédemment.

Or il est à remarquer que quelle que soit la température primitive de la masse, qu'on la refroidisse vite ou lentement, ce dégagement de chaleur se manifeste toujours au bout du même temps, soit à peu près entre la sixième et la quinzième heure de malaxage. Si l'on ne refroidit pas, c'est entre la sixième et la vingtième heure environ que le phénomène se manifeste.

La température initiale ne semble donc pas entrer en ligne de compte, c'est *le temps* qui est le facteur principal du phénomène.

Il semble donc que pendant les six premières heures de malaxage la cristallisation soit facile, et que à partir de ce moment la masse se dépouille de son sucre en faveur des cristaux avec un travail mécanique considérable.

Cependant selon nos propres expériences il se fait pendant les premières heures un *travail* très remarquable.

Il y a une grande différence entre le turbinage d'une masse cuite (avec rentrées d'égout) à la sortie de la chaudière à cuire ou bien après quelques heures de malaxage, la seconde se clairçant beaucoup plus facilement que la première. C'est surtout avec les seconds jets que le fait est le plus appréciable, exagérant par l'impureté de la masse les phénomènes qui s'y passent. Quelle est la nature de ces phénomènes ? Il est bien difficile de l'énoncer. Mais le résultat en est que les cristaux se détachent mieux de l'eau-mère qui les entoure, des gommages qui les enserrant. Et c'est probablement parce que le cristal se trouve alors débarrassé de ces gommages qu'une nouvelle cristallisation commence à ce moment.

Dans les appareils de cuite en mouvement, Reboux, Grossé, Abraham, etc., le travail mécanique du malaxage se fait pendant la cuite ce qui accélère le travail, et cependant on a toujours avantage, avec ces appareils, d'arrêter de temps en temps l'alimentation pendant quelques heures pour laisser le grain se détacher, et continuer ensuite à faire de nouvelles charges. C'est ainsi d'ailleurs qu'Abraham conseille de procéder.

Si l'on fait la courbe du désucrage des égouts pendant le malaxage on voit qu'il est plus rapide au début qu'à la fin, tendant à former une courbe parabolique très accentuée jusqu'à la fin de la sixième heure, et s'approchant de l'horizontale après la quinzième ou la vingtième heure.

D'où résulte que le désucrage très rapide au début est de moins en moins effectif au fur et à mesure que l'eau-mère s'épuise, et serait inversement proportionnel à la racine carrée du temps. On peut dire encore que la différence de polarisation de l'égout y , avant et après le malaxage, est proportionnelle à la racine carrée du temps x de malaxage.

$$y = \sqrt{2px} \quad \begin{array}{l} y = \text{polarisation} \\ x = \text{temps.} \end{array}$$

$2p$ est variable avec la température de la cuite, d'autant plus petit que cette température est moins élevée. D'où résulte que les cuites chaudes s'épuisent plus vite que les cuites froides, et que l'on a intérêt alors à les couler serrées et à les refroidir.

Quant à la courbe de refroidissement dans les cristallisoirs elle est remarquable.

De la première à la sixième heure la courbe est presque une ligne droite. Mais à partir de la sixième heure elle prend la forme nettement parabolique. Si x représente le temps, z l'abaissement de la température,

$$x^2 = 2 p' z$$

Donc après la sixième heure l'abaissement de la température est proportionnel au carré du temps, $2p'$ étant d'autant plus petit que la température est plus élevée, ce qui est absolument naturel.

En rapprochant ces deux formules dans lesquelles il y a un terme commun x , on pourrait dire que l'abaissement de polarisation de l'égout est proportionnel à la racine quatrième de l'abaissement de température, c'est-à-dire que la température influe très peu sur l'appauvrissement de l'égout, et que le temps est un facteur beaucoup plus important.

Cette forme mathématique rend beaucoup plus facile à interpréter les différents résultats qui constituent les conclusions de Claassen, avec lesquelles elle est en parfait accord.

La cristallisation est inverse du désucrage des égouts. Il résulte donc de ce qui précède que le refroidissement des malaxeurs influe peu sur la cristallisation et que c'est le temps de malaxage qui est le plus important. C'est pourquoi beaucoup de fabriques ont renoncé aux malaxeurs à enveloppes refroidissantes, le temps du malaxage amenant un refroidissement naturel suffisant.

Cependant nous verrons plus loin que le refroidissement devant se faire dans un temps déterminé à chaque phase du désucrage les enveloppes, ou moyens autres de refroidissement, sont indispensables.

§ 7. — Conduite de la cristallisation en mouvement.

Pour conduire les cristallisoirs munis d'un moyen quelconque de réfrigération, il est utile d'établir les lois du désucrage des eaux-mères d'une façon aussi parfaite que possible.

Soit x le sucre contenu dans l'eau-mère d'une masse cuite au moment de la coulée dans le cristallisoir, et x' le sucre contenu dans l'eau-mère de la même masse cuite après un certain laps de temps. $(x - x')$ représente la quantité de sucre précipitée, ou le *désucrage* de l'eau-mère.

La pureté de l'eau-mère au début est représentée par la formule conventionnelle (en mettant $P = y$) :

$$y = \frac{100 x}{A + x}$$

y étant la pureté, et A ce que l'on nomme le non-sucre.

A la fin de l'opération la pureté est évidemment :

$$y' = \frac{100 x'}{A + x'}$$

le non-sucre n'ayant pas changé. On suppose également que la quantité d'eau initiale n'a pas changé, et que l'on n'a ajouté aucun égout de délayage.

Si de ces deux valeurs on tire celles de x et x' , on trouve pour le désucrage, toutes transformations faites :

$$(1) \quad (x - x') = 100 A \frac{(y - y')}{(100 - y)(100 - y')}$$

Nous allons analyser les variations de cette équation et chercher les enseignements qu'elle peut nous fournir.

Remarquons d'abord que x' est variable de x à 0 . En effet, s'il n'y a pas de désucrage ($x - x' = 0$), d'où $x' = x$. Si l'on pouvait arriver au désucrage parfait, c'est-à-dire à la précipitation de tout le sucre x , ($x - x'$) serait égal à x , soit $x' = 0$.

Il en est de même de la pureté qui varie de y à 0 , pour $x' = 0$.

La valeur limite de ($x - x'$) est donc pour $x' = 0$ et $y' = 0$.

$$x = 100 A \frac{y}{(100 - y) 100}$$

ou

$$100 x - xy - A y = 0$$

Cette valeur limite représente l'équation d'une hyperbole passant par l'origine et ayant pour asymptotes $x = -A$ et $y = 100$, parallèles aux axes des y et des x .

On remarque d'ailleurs que cette équation n'est que l'expression développée qui sert de définition à la pureté, car si l'on tire de là la valeur de y , on trouve :

$$y = \frac{100 x}{A + x}$$

Ceci est naturel, car nous aurions pu partir de la définition de la pureté pour établir la loi du sucage.

Cette valeur limite de ($x - x'$) est l'équation même du désucrage. Car, en différenciant l'équation (1) et intégrant ensuite, on retrouve la même valeur à une constante près.

Si donc nous traçons cette hyperbole, nous aurons sous les yeux la loi qui régit le désucrage des eaux-mères.

Dans cette équation, A est une variable qui ne dépend pas de nous. Elle est typique pour chaque espèce de sirops. C'est de A que dépendra la forme de la parabole, puisque l'une des asymptotes est $-A$, l'autre asymptote $+100$ étant constante dans tous les cas.

Si $A = 100$ (fig. 151) les deux asymptotes sont équidistantes des axes des x et des y , et l'axe de la courbe passe par l'origine.

La courbe de désucrage est, dans ce cas particulier, une branche d'hyperbole complète.

Si A est > 100 l'axe de la courbe passe au-dessous de l'origine, et la branche d'hyperbole qui représente le désucrage s'approche de l'axe des x et s'allonge fort éloignée de son asymptote.

Si au contraire A est < 100 (fig. 150), une portion de la branche inférieure de la courbe est au-dessus de l'axe des x , et à la limite, quand $A = 0$, c'est-à-dire pour une solution de sucre pur, l'hyperbole se rapprochant de plus en plus des asymptotes finit par se confondre avec elles.

En comparant les figures 150 et 151, on voit que quand A est petit (fig. 150), pour une valeur ox' du sucre de l'eau-mère, la pureté oy' est plus grande que dans le cas où A est très grand (fig. 151); oy' est plus grande dans la figure 150 que dans la figure 151, ce qui concorde d'ailleurs avec la formule de la pureté.

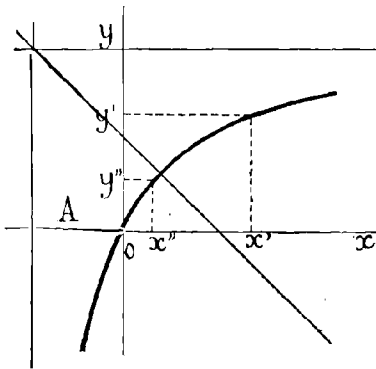


Fig. 150

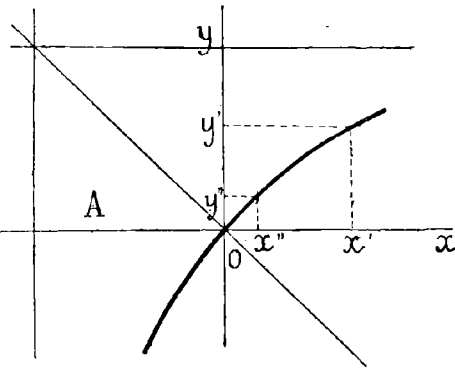


Fig. 151

Il faut donc dans le premier cas que ox'' soit beaucoup plus petit que dans le second pour arriver au même abaissement de pureté oy'' .

Cette démonstration graphique des valeurs de y pour différentes valeurs de A , fait voir que pour arriver à une basse pureté, c'est-à-dire à un épuisement suffisant, tout en conservant une quantité suffisante de sucre dans les eaux-mères, il faut partir d'une masse cuite de basse pureté elle-même.

Elle fait voir aussi l'impossibilité où l'on est d'obtenir un épuisement considérable avec une masse cuite riche, dans laquelle A est très petit, puisque, à la limite, quand $A = 0$, c'est-à-dire avec du sucre pur, la pureté conserve indéfiniment sa même valeur.

D'ailleurs il y a une limite à l'épuisement que l'on ne peut dépasser. En effet quand on a désucré autant que possible une eau-mère, il reste

une nouvelle eau-mère qui est constituée par le non-sucre A, d'abord, et ensuite par la quantité de sucre soluble dans l'eau à la température du malaxeur en fin de désucrage.

Si l'on refroidit à 50° par exemple, on trouve dans les tables qu'à cette température 71,8 de sucre sont dissous dans 28,2 d'eau. On aura donc toujours à cette température pour 28,2 d'eau 71,8 de sucre dissout. Donc pour obtenir de la mélasse, à 54 de pureté par exemple, en épuisant une eau-mère qui contiendrait 28,2 d'eau, il faut que A soit tel que la valeur de P pour 71,8 de sucre soit égale à 54, et chercher à faire de la mélasse dans d'autres conditions est impossible.

C'est pourquoi on ne peut arriver à faire de la mélasse du premier jet, car le rapport du sucre au non-sucre est trop grand.

Ceci est un point très important pour la pratique et qui ressort absolument de l'inspection des courbes. C'est même pour arriver à cette conclusion intéressante que toute cette dissertation a été faite.

On voit d'ailleurs que si l'on part d'un deuxième jet ayant 62 de pureté, A sera assez grand pour obtenir rapidement $P = 54$, tout en conservant la quantité de sucre dissoute correspondante à l'eau de la masse cuite. Mais on voit que plus A est petit, plus il faut serrer la masse cuite pour arriver à la mélasse, quitte à la délayer ensuite avec de la mélasse incristallisable pour lui permettre de sortir de la chaudière à cuire.

Donc étant donnée une masse cuite dont l'eau-mère a une pureté P, on pourra déterminer immédiatement la quantité de sucre précipitable, et, pendant le malaxage, on pourra se rendre compte à chaque instant du degré d'avancement du désucrage, et enfin du moment où l'on peut ou doit s'arrêter.

Enfin on pourra, connaissant le non-sucre A d'un sirop, non-sucre qui persistera jusque dans les dernières eaux-mères de la masse cuite malaxée, déterminer d'avance la quantité d'eau qu'on doit laisser dans la masse cuite pour obtenir en fin de compte une mélasse de pureté P fixée d'avance.

Ceci connu, il y a intérêt à savoir quelle pureté doit avoir l'eau-mère à chaque instant du malaxage. Car, si l'on fait une analyse toutes les heures par exemple, on pourra se rendre compte non seulement du degré d'avancement du désucrage, mais aussi de la régularité de cette opération, de l'état de saturation ou de sursaturation du liquide, etc.

Or, si l'on fait de pareilles analyses sur des masses refroidies lentement et sur d'autres refroidies de plus en plus vite, comme l'a fait Claassen, et si l'on trace la courbe représentant les désucrages correspondants, on

remarque que ces courbes sont des branches de paraboles plus ou moins tendues. Les plus élevées au-dessus de l'axe sont celles qui correspondent au refroidissement le plus vif; ce sont celles qui sont le mieux épuisées dans le même temps.

D'après la forme de ces paraboles on déduit que le désucrage est proportionnel à la racine carrée du temps :

$$(x - x') = f\sqrt{t}$$

Cette forme parabolique est explicable de bien des manières.

D'abord on peut dire que l'attraction des cristaux pour les molécules sucrées suit la loi de la gravitation qui se représente par une parabole. On peut dire aussi que les cristaux se mouvant dans un milieu visqueux qui retarde le mouvement, ils suivent dans leur évolution la loi du frottement qui est également une parabole. Enfin le refroidissement change à chaque instant la viscosité du liquide, et l'on sait que la viscosité diminue en fonction du carré des températures, ce qui est encore une parabole.

Il n'est donc pas étonnant que la résultante de tous ces efforts combinés soit elle-même parabolique.

Par conséquent le désucrage étant proportionnel à la racine carrée du temps, on pourra, en posant une proportion, savoir à chaque instant à quel degré d'avancement doit être le désucrage.

Pendant combien de temps doit-on malaxer une masse cuite ?

En l'état actuel de la science il nous est impossible de répondre *a priori*. Il faudrait connaître pour cela les lois de la cristallisation en fonction du temps, et nous les ignorons. Au laboratoire, par exemple lorsqu'on fait cristalliser un sel, et que l'on veut obtenir de beaux cristaux, il faut un temps assez long, Pourquoi ? Nous l'ignorons.

Si l'on se reportait aux seules lois de la gravitation, la cristallisation serait l'affaire de quelques secondes. Mais il y a dans la cristallisation des forces antagonistes qui entrent en jeu. En réalité nous passons ici de l'état liquide à l'état solide. Il se fait un *travail* considérable au sein de la dissolution, travail qui, dans certains cas, se traduit par un dégagement de chaleur très apparent, Or, jusqu'à présent, on n'a pas déterminé pour le sucre les données thermiques qui pourraient servir à établir la valeur de ce travail. Nous ne pouvons donc pas chercher à évaluer le temps nécessaire pour l'accomplir, et l'expérience journalière des sucreries peut seule nous fournir des données sur ce point.

Seulement si nous ne connaissons pas le temps minimum de la cristallisation, nous pouvons cependant chercher le moyen de faire ce tra-

vail dans le temps le plus court possible dans les conditions spéciales où se trouvent les eaux-mères.

Or nous pouvons cité la *viscosité* comme l'une des causes premières de la forme parabolique de notre courbe de désucrage. Il est évident que plus un liquide sera visqueux, plus long sera le désucrage. Il faut donc diminuer le plus possible la viscosité de nos masses cuites.

Le moyen le plus pratique et le plus puissant de diminuer la viscosité d'un liquide, c'est de le chauffer. Car la viscosité est fonction inverse du carré de la température.

Et, de fait, dans les courbes de désucrage, on remarque toujours que ce sont les cuites coulées les plus chaudes qui se désucrent le plus vite et le plus complètement.

Mais si l'on tenait la masse à une température élevée constante, l'eau-mère ne s'épuiserait pas. Il faut donc la refroidir graduellement pour abaisser le point de saturation, et le refroidissement doit se faire exactement dans le même temps que le désucrage, car si l'on allait trop vite on sursaturerait le liquide et l'on s'exposerait à faire du grain fin. C'est en cela que consiste tout l'art de la conduite des cristallisoirs.

Seulement il semblerait qu'en refroidissant on diminuera la viscosité. Il n'en est rien. En effet, la cause la plus grande de la viscosité d'un liquide sucré c'est le sucre dissout lui-même, car la preuve de la cuite, filet, crochet ou autre, n'est que la constatation de son état de viscosité. Donc, à mesure que la masse se désucre, la viscosité diminue. Par conséquent le refroidissement doit suivre le désucrage de telle sorte que l'augmentation de viscosité qu'il entraîne corresponde à la diminution de viscosité provenant de la précipitation du sucre.

De telle sorte que si l'on part d'une masse cuite très chaude, ayant par conséquent une faible viscosité, le refroidissement pourra ne pas changer cette viscosité qui règnera jusqu'à la fin du désucrage, et, dans ces conditions, l'opération se fera très vite. C'est ce que prouve l'expérience.

Donc, *couler chaud et refroidir vite*, sont les meilleures conditions pour la cristallisation en mouvement.

Mais si l'on coule une masse chaude, pour que son eau-mère soit saturée il faut la concentrer beaucoup, et ne lui laisser parfois que 4 à 5 % d'eau, et dans ces conditions *ça ne sort pas* de l'appareil. C'est alors que l'on voit la nécessité de *détayer* la masse dans l'appareil avec de la mélasse épuisée, *sans évaporation*, cette mélasse étant chauffée au préalable à la température de la cuite. Or nous avons vu précédemment que la concentration de la cuite est aussi un moyen de bon épuisement final dans le cristallisoir. Ces deux points théorique et pratique concordent donc exactement entre eux.

Concluons donc pour répondre à cette question souvent posée :

« Devra-t-on refroidir vite ou lentement? » — De ce qui précède il résulte qu'une masse coulée froide devra être refroidie lentement, et une masse coulée chaude devra être refroidie vite, cette vitesse de refroidissement correspondant avec l'état de saturation de la masse.

Et pour se guider on devra analyser de temps en temps l'eau-mère de la masse, et voir son état de saturation.

Nous possédons plusieurs tables donnant la saturation des liquides sucrés aux différentes températures, entre autres celles de Flourens (page 24) et d'Herzfeld. Mais si l'on trace les courbes que donnent les chiffres de ces deux tables, nous voyons qu'elles ne coïncident pas. Les chiffres d'Herzfeld donnent presque une ligne droite, ceux de Flourens une courbe ressemblant à une branche d'hyperbole. Jusqu'à 66° il n'y a pas concordance entre les deux auteurs. Au delà les lignes se confondent presque.

Nous connaissons tous les soins méticuleux avec lesquels travaillait notre regretté compatriote Flourens. Aussi, sans vouloir diminuer en rien les mérites du docteur Allemand, ai-je adopté dans nos calculs les chiffres de Flourens dont la courbe me semble plus rapprochée de la vérité, ayant souvent observé personnellement que, au bas de l'échelle, la solubilité du sucre ne croît pas proportionnellement avec les températures.

Quelle que soit d'ailleurs la table dont on se serve, si nous considérons une masse cuite en malaxage à une température donnée, si nous voulons savoir combien de sucre doit contenir son eau-mère à cette température, nous consulterons la table. Si l'analyse nous montre que le rapport de l'eau au sucre se maintient sensiblement parallèle à celui de la table, nous marchons convenablement. Si au contraire nous remarquons de la sursaturation, nous ralentirons le courant d'eau.

Ces tables nous permettent aussi de voir à quelle température nous devons nous arrêter pour le malaxage.

Exemple : nous coulons une masse cuite à 80° centigrades. Son eau-mère saturée doit contenir 78,35 de sucre pour 21,65 d'eau, *abstraction faite du non-sucre*. Si, après malaxage, nous désirons que l'eau-mère ne contienne plus que 72,80 de sucre pour cette même quantité d'eau pour avoir une pureté déterminée, la table nous indique que c'est à 55° que la solution saturée a cette composition. C'est donc jusqu'à 55° que nous devons refroidir dans ce cas.

De même si nous savons que notre montage ne nous permet pas de refroidir au delà de 55°, par exemple, nous devons couler notre masse

cuite à une température telle que son eau-mère contienne les quantités d'eau et de sucre qui permettront d'obtenir à 55° l'eau-mère à la pureté désirée. C'est donc le problème inverse que nous permettent de résoudre les tables.

Nous venons de dire que, *abstraction faite du non-sucre*, les eaux-mères doivent contenir telle proportion de sucre et d'eau. En effet, Claassen nous a fait voir que, conformément aux lois générales de la dissolution, l'eau, quoique chargée d'autres substances, dissout *sensiblement* la même quantité de sucre que si celui-ci était seul renfermé dans la liqueur.

Néanmoins il y a une légère différence dans la solubilité du sucre dans l'eau pure ou dans l'eau chargée de sels ou de matières organiques. Le sucre est plus soluble en présence des solutions salines, les sucro-sels étant remarquables sous le rapport de leur solubilité, cause d'ailleurs de la mélasse. Aussi en résulte-t-il à l'analyse, presque toujours, une sursaturation apparente dont on doit tenir compte, car elle provient de la présence des sucro-sels qui restent dissous dans l'eau-mère jusqu'à la fin et ne participent pas au désucrage. De sorte que, à la fin de l'opération, l'eau-mère semble plus sursaturée qu'au début, et cela provient de l'accumulation du sucre combiné jusque dans les derniers résidus, lequel marque quand même au saccharimètre, avec un pouvoir rotatoire un peu moindre parfois que le sucre normal.

Et, de fait, on calcule facilement que cette sursaturation factice est proportionnelle au désucrage. Si elle est, par exemple de 0,1 au début, elle deviendra 0,2 à la fin si l'on a précipité la moitié du sucre total par malaxage. C'est ce que nous avons observé dans le traitement de certains égouts pauvres.

La sursaturation peut donc n'être qu'apparente. Mais il ne faut pas se fier à cette apparence, et bien s'assurer si l'on ne se trouve pas en présence d'une sursaturation réelle, ce qui se voit facilement en maintenant quelque temps la masse à la même température. Si la sursaturation est réelle elle baissera bientôt.

Application des formules. — Nous sommes maintenant en possession de tous les éléments nécessaires et suffisants pour diriger nos malaxeurs, et nous allons en donner des exemples.

Soit à épuiser une masse cuite dont l'eau-mère a 66° de pureté que l'on désire ramener à 54 de pureté.

Nous allons commencer par supposer que, sans rien calculer, on la coule à 80° dans le malaxeur.

La table de Flourens nous dit qu'à 80° centigrades, 100 grammes de solution sucrée contiennent 78,35 de sucre et 21,65 d'eau.

La pureté étant 66, le non-sucre

$$A = \frac{100 - P}{P} \times S = 40,35$$

notre eau-mère aura donc la composition suivante :

Sucre	78,35	}	ou	}	55,80
Non-sucre	40,35				28,75
Eau	21,65				15,45
	140,35				100,00

Notre eau-mère finale à 54 de pureté contiendra :

$$\text{Sucre} = \frac{28,75 \times 54}{100 - 54} = 33,75$$

on aura donc éliminé 55,80 — 33,75 = 22,05 de sucre par le malaxage.

Notre eau-mère à 54 de pureté aura la composition :

Sucre	33,75
Non-sucre	28,75
Eau	15,45

Contenant par conséquent :

Sucre	33,75	}	ou	}	68,60
Eau	15,45				31,40
	69,20				100,00

Si nous cherchons dans la table à quelle température correspond cette solution saturée, nous trouvons : 34°.

Il faudrait donc refroidir le malaxeur à 34°. Or il est difficile, parfois même impossible dans des usines chaudes, de descendre aussi bas dans les malaxeurs, et, de plus, à cette température le turbinage est pénible.

Si on ne refroidissait qu'à 45° par exemple, on trouverait sur les tables :

Sucre	70,80
Eau	29,20

Donnant à l'eau-mère la composition suivante :

Sucre	37,46
Non-sucre	28,75
Eau	15,45

Avec une pureté de 56,5 seulement.

On voit donc que partant d'une eau-mère à 66 de pureté et coulant à 80° on ne peut pas abaisser la pureté à 54.

Faisons le calcul inverse :

Nous voulons avoir une eau-mère finale à 54 de pureté à la température de 45°.

D'après les tables on a à 45° :

Sucre	70,80
Eau	29,20

à la pureté de 54 avec 70,80 de sucre, on a le non-sucre :

$$A = \frac{100 - 54}{54} \times 70,8 = 60,31$$

Notre mélasse finale aura donc la composition :

Sucre	70,80
Non-sucre	60,31
Eau	29,20

Notre égout primitif avait la même quantité de non-sucre et d'eau. Cherchons le sucre qu'il avait avec une pureté de 66.

$$x = \frac{60,31 \times 66}{100 - 66} = 117,07$$

Soit la composition de notre eau-mère :

Sucre	117,07	}	ou	}	56,68
Non-sucre	60,31				29,19
Eau	29,20				14,13
	206,58				100,00

Or on voit que le rapport du sucre à l'eau dans notre sirop initial était :

Sucre	56,68	}	ou	}	80,03
Eau	14,13				19,97
	70,81				100,00

Cherchons sur la table, et nous trouvons que cette composition correspond à la solution saturée à 87°,5.

C'est donc à 87°,5 que nous devons concentrer et couler notre cuite à 66 de pureté d'eau-mère pour obtenir finalement une mélasse à 54 de pureté refroidie à 45°. Nous avons donc fait une erreur en la coulant à 80°.

Notre mélasse finale, d'après notre calcul, avait 29,20 d'eau pour

160,31 de poids total. Si nous ramenons sa composition à 14,13 d'eau, nous avons donc 33,99 de sucre. Donc on a éliminé $56,68 - 33,99 = 22,69$ de sucre, au lieu de 22,05 que nous avons dans le premier calcul. La différence provient de la plus grande concentration de la masse qui contient 14,13 d'eau dans l'eau-mère au lieu de 15,45 qu'elle avait à 80°. Il a donc suffi d'une très faible différence d'évaporation pour obtenir le résultat cherché.

Cherchons maintenant quel sera le désucrage de notre masse-cuite aux différentes heures du malaxage. Supposons qu'on malaxe 48 heures, et, pour ne pas allonger nos calculs, supposons que l'on n'analyse les eaux-mères que toutes les 4 heures.

Nous allons mettre en tableau tous les éléments du problème.

Ecrivons d'abord dans la colonne (1) les heures de 4 en 4.

Comme le désucrage est proportionnel à la racine carrée des temps, mettons dans la colonne (2) la racine carrée des heures.

Le désucrage de 4 heures en 4 heures sera proportionnel à la différence de ces nombres. Inscrivons dans la colonne (3) ces différences dont la somme totale est égale à 6,928.

Nous devons éliminer 22,69 de sucre proportionnellement à ces différences, c'est-à-dire que dans les 4 premières heures on aura éliminé $\frac{22,69}{6,928} \times 2 = 6,550$; dans les 4 heures suivantes on aura éliminé $\frac{22,69}{6,928} \times 0,828 = 2,712$, etc. Nous aurons donc la suite des nombres de la colonne (4) dont le total égale 22,69.

Notre eau-mère aura donc les quantités de sucre successives que nous mettons dans la colonne (5) obtenue en retranchant de 56,680, sucre primitif, successivement les chiffres de la colonne (4).

Dans la colonne (6) nous mettons les mêmes nombres rapportés à 100 grammes de solution sucre et eau.

Dans la colonne (7) nous n'aurons plus qu'à inscrire les températures correspondantes à ces compositions de sirop d'après les tables de Flourens.

Enfin nous calculerons les puretés correspondant à la composition de chacun de ses sirops et nous les mettrons dans la colonne (8).

Nous avons ainsi dans ce tableau toutes les données nécessaires pour conduire notre malaxage, c'est-à-dire la température toutes les 4 heures, le sucre et la pureté.

En faisant donc les analyses toutes les 4 heures, si nous trouvons une pureté trop grande, c'est qu'il y aura sursaturation. Il faudra donc ralentir le refroidissement. Sinon on pourra essayer de refroidir plus vite

pour gagner du temps. Et si à un moment donné on constate de la sursaturation, il faudra arrêter le refroidissement quelque temps pour revenir à la saturation normale avant de remettre l'eau dans le système refroidisseur.

Nous avons fait le tableau ci-dessous pour des intervalles de 4 heures. Il serait préférable de l'établir pour des espaces de 2 heures pour le début, au moins pour les 20 premières heures pendant lesquelles le désucrage est le plus actif.

En pratique, comme les masses cuites dans un travail bien conduit ne changent pas sensiblement, lorsque l'on aura fait tous ces essais sur une première opération qui aura permis de bien régler le travail, il suffira pour les suivantes de faire des analyses le matin, à midi, et le soir au commencement du malaxage, matin et soir le second jour, afin de voir si la marche est régulière. On doit aussi les faire toutes les fois que l'on s'aperçoit qu'il y a précipitation de grain fin.

On voit qu'avec de bons malaxeurs, surtout avec ceux munis de serpents Ragot, la conduite du malaxage est très facile. Avec un peu d'expérience on se rendra vite maître du travail courant de l'usine sans trop de travail de laboratoire.

Conduite des malaxeurs

1	2	3	4	5	6	7	8
Heures	$\sqrt{(1)}$	δ	Sucre éliminé	Sucre pour 14,13 d'eau	Sucre pour 100 gr.	Température de saturation	Puretés pour (5) A = 29,19
0	0	0	0	56,680	80,03	87,5	66
4	2	2	6,550	50,130	78,11	79	64,46
8	2,828	0,828	2,712	47,418	77,04	74	61,89
12	3,464	0,636	2,083	45,335	76,23	71	60,83
16	4	0,536	1,755	43,580	75,51	67,5	59,88
20	4,472	0,472	1,546	42,034	74,84	64	59,01
24	5,898	0,426	1,395	40,639	74,20	61	58,19
28	5,291	0,393	1,287	39,353	73,58	58	57,41
32	5,656	0,365	1,195	38,157	72,97	56	56,62
36	6	0,344	1,127	37,030	72,18	52	55,91
40	6,324	0,324	1,061	35,967	71,79	49	55,19
44	6,633	0,309	1,012	34,957	71,41	47,5	54,49
48	6,928	0,295	0,967	33,990	70,80	45	54
		6,928	22,690				

§ 8. — Partie pratique.

Vers 1884-1885 le D^r Wulf songea à reprendre l'application méthodique du mouvement à la cristallisation des sirops sucrés impurs.

En 1888 Stammer et Bock, ce dernier surtout, donnèrent une forme pratique aux idées de Wulf.

Presqu'en même temps Hucke et Lauke inventèrent un procédé qu'ils firent connaître en 1889, différant quelque peu du précédent par le mode opératoire.

En 1889 Steffen imagina une méthode mixte de cuite et de malaxage, substituant en même temps le *lessivage* de la masse cuite au turbinage. En 1890 il compléta son système avec ce que l'on appela la *cuite méthodique*, faisant rentrer par ordre de pureté ses égouts de lessivage dans la cuite.

En 1890 Raeymaeckers, collaborateur de Steffen, fit breveter en France et Belgique une variante du procédé Steffen, dans laquelle il indiquait les conditions numériques à remplir pour un travail rationnel.

En 1894 vint le procédé Manoury « Sucre et Mélasse » qui n'est qu'une variante également des précédents.

Et, depuis, une foule d'autres tel qu'Abraham (1897), Sachs, etc., se greffèrent sur les mêmes principes.

Le point de départ des appareils qu'utilisèrent tous ces inventeurs est le malaxeur Bocquin et Lipchinsky breveté en 1880 qui n'était qu'un mélangeur dans lequel on coulait la cuite avant turbinage pour lui conserver son homogénéité, avec un double fond pour circulation d'eau destiné à refroidir la masse. Cet appareil fort bien conçu, servit comme on voit à un tout autre usage que n'avait pensé leur inventeur.

Enfin, à la cristallisation en mouvement, est venue se joindre la *cuite* en mouvement. En 1894 Reboux construisit une chaudière à cuire horizontale à grande surface de chauffe et munie intérieurement d'un malaxeur, comptant réunir dans un même appareil les avantages du procédé Hucke et Lauke.

Plus tard une cuite verticale, l'appareil Grossé (1898), munie de quelques organes nouveaux, réalisa par ses grandes dimensions les espérances que Reboux avait caressées.

Nous allons passer en revue rapidement tous ces procédés.

Procédé Stammer-Bock. — Destiné au travail des bas produits, il consiste à réchauffer à 75 ou 80° les sirops cuits au petit filet léger, et à les couler à cette haute température dans un malaxeur contenant une amorce. Le malaxeur est refroidi lentement, et, grâce à cet abaissement de chaleur la solution sursaturée abandonne son sucre au contact de l'amorce.

L'amorce était autrefois formée par une certaine quantité d'une cuite précédente qu'on laissait dans le fond du malaxeur. On préfère aujourd'hui

d'hui la constituer avec une certaine quantité de sucre cristallisé, sachant mieux ainsi ce que l'on fait.

L'appareil dont on se sert est un cylindre horizontal, avec trou de chargement et trou de vidange, dans l'axe duquel tourne un arbre à palette faisant deux tours par minute. Le cylindre est entouré complètement d'une enveloppe, laissant un espace vide de quelques centimètres que l'on fait parcourir par de l'eau chaude ou froide. Le cylindre a 4 ou 5 mètres de longueur, 1^m,50 à 1^m,75 de diamètre, et contient 70 à 120 hectolitres de sirop.

On commence par y charger l'amorce, qui est du sucre à 88°, soit à raison de 100 kilogrammes de sucre pour 1.000 kilogrammes d'égout. Puis on fait arriver le sirop cuit au filet léger, et l'on met l'arbre à palettes en marche. En même temps on introduit de l'eau chaude dans la double enveloppe pour éviter un refroidissement trop brusque. On diminue progressivement la température de l'eau qui est remplacée à la fin par de l'eau froide, de telle sorte qu'en trois jours l'appareil soit froid. On turbine alors.

Le procédé Stammer-Bock est donc basé sur la précipitation du sucre d'une solution chaude sursaturée, par le moyen du refroidissement, avec l'aide d'une amorce. Le fait est que les cristaux vus au microscope paraissent constitués par une agglomération de petits grains et ne ressemblent pas à une cristallisation ordinaire de masse cuite.

Procédé Hucke et Lauke. — Ce procédé consiste à couler dans un malaxeur fermé des sirops à une température relativement basse, 65° environ, amorcés au préalable, à faire le vide dans l'appareil chauffé par un double-fond, et malaxer jusqu'à ce que l'évaporation et le mouvement aient amené le tout à l'état de masse cuite ordinaire. Le sirop reste donc tout le temps à une température constante.

Ce système diffère donc entièrement du précédent. C'est, en somme, une cuite lente en mouvement, et qui donne les mêmes cristaux qu'une cuite ordinaire.

L'appareil est un cylindre horizontal de 5 mètres de longueur, 2 mètres de diamètre, contenance 160 hectolitres environ, muni dans son axe d'un arbre à palettes faisant 2 tours par minute. Il porte un double-fond, sur la moitié seulement de sa circonférence, à la partie inférieure, double-fond dans lequel circule de la vapeur à 0,3 ou 0,4 atmosphère de pression. Le cylindre est clos, et comporte toutes les armatures d'une chaudière à cuire ordinaire, vase de sûreté, etc.

On opère de la manière suivante. On commence la cuite comme à l'ordinaire dans la chaudière à cuire de l'usine ; quand elle est bien

crystallisée, on la serre le plus fort possible, puis on la délaie avec 10 à 12 % d'égout et on coule au cristalliseur à 60 ou 70° de température. On fait le vide dans le cristalliseur à 68 ou 70 centimètres, on chauffe le double-fond, et l'on attend que la cuite y soit encore une fois serrée. On ajoute alors encore 10 % d'égout, continuant le serrage et l'addition d'égout jusqu'à ce que le cristalliseur soit plein. La dernière charge n'est pas concentrée. Elle sert à délayer la masse. On casse alors le vide et coule aux turbines. Le tout dure 12 à 14 heures.

On peut conduire aussi cette cuite par charges successives ou continues sans serrage préalable comme toute autre cuite.

Ce système a l'avantage sur la cuite ordinaire de donner plus de rendement; et en effet nous avons vu que la notion du temps étant un grand facteur pour la cristallisation et l'épuisement des liquides sucrés, cette cuite étant très lente doit épuiser admirablement les égouts. C'est ce qui a fait son succès incontestable.

Procédé Raeymaeckers. — Raeymaeckers a fait breveter en Belgique le procédé de rentrée d'égout dans la masse cuite qui constitue l'invention de Steffen avec lequel il agissait en collaboration. Nous donnons ci-après la teneur de ce brevet.

(BREVET RAEYMAECKERS, DU 16 JUIN 1890.)

**NOTE SUR LE TRAVAIL DES MASSES CUITES 1^{er} JET
en vue d'obtenir le maximum de rendement
en sucres blancs ou roux.**

Le rendement en sucre sera d'autant plus grand que le coefficient de pureté de l'égout sera plus bas.

Si par un artifice quelconque nous pouvons produire un égout dont la pureté est égale à celle d'une mélasse ordinaire (soit environ 59-60) le rendement atteindra le maximum possible.

Ce résultat peut s'atteindre en marche courante quand on fait usage du procédé dit « le lavage » où l'égouttage se fait librement.

On peut obtenir également ce résultat quand on fait usage de la turbine. Toutefois alors les coefficients de pureté des égouts sont moins réguliers, et, dans tous les cas, il est à conseiller de recuire les égouts en 2^e jet. Le travail des 2^{es} jets peut se faire d'une manière très économique par égouttage naturel et lavage.

THÉORIE DU PROCÉDÉ. — Si nous considérons la composition d'une mélasse normale de fabrication, nous lui trouverons sensiblement la composition de :

Brix	83,00
Sucre	49,80
Non-sucre	33,20
Eau	17,00
Pureté	60,00

Nous remarquerons que, dans cette mélasse, le rapport entre le non-sucre et l'eau est :

$$17 : 33,2 \text{ ou à peu près comme } 1 : 2.$$

Si donc nous désirons décomposer une masse cuite en sucre cristallisé et mélasse, ce qui est le but poursuivi, il faudra nécessairement que dans la composition de cette masse cuite l'eau et le non-sucre se trouvent dans le rapport indiqué ci-dessus.

Prenons une masse cuite de composition moyenne. Nous y trouvons :

Brix	93,00
Eau	7,00
Sucre	84,63
Non-sucre	8,37
Pureté	91,00

Nous constatons que le rapport entre l'eau et le sucre, $7 : 8,37$, ne correspond nullement à la proportion nécessaire.

Deux voies sont applicables pour arriver au but :

a) *Diminuer l'eau dans la masse cuite.*

Dans ce cas nous aurons une masse cuite à peu près composée comme suit :

Brix	96,00
Eau	4,00
Sucre	87,36
Non-sucre	8,64
Pureté	91,00

Ici nous avons réussi à avoir :

$$4,00 : 8,64 = 1 : 2$$

Mais une masse cuite à 4 % d'eau ne s'obtient que difficilement dans les appareils ordinaires, et, par le refroidissement, nous obtiendrons un bloc compact d'un turbinage impossible sans addition d'un sirop quelconque.

Mieux vaut procéder par :

b) *Augmentation du non-sucre dans la masse cuite.*

Imaginons une cuite dans laquelle le rapport entre eau et non-sucre existe comme il doit être, et qui, de plus, contienne une quantité d'eau suffisante pour qu'elle puisse être refroidie dans un malaxeur, dans lequel la cristallisation s'achèvera dans les meilleures conditions.

Cette cuite aura comme composition centésimale :

Brix	92,00
Eau	8,00
Non-sucre	16,00
Sucre.	76,00
Pureté	82,60

Si nous soumettons une cuite semblable au malaxage et au refroidissement lent, dans un malaxeur quelconque, nous pourrions, par égouttage naturel (lavage), retirer de cette masse un sirop-égout dont la pureté sera très voisine de 60. Par turbinage ou égouttage forcé, le coefficient de l'égout sera de 64 à 66.

De là, la conclusion que pour retirer d'une masse cuite le plus de sucre en 1^{er} jet, il faut ramener le coefficient de pureté de cette masse cuite vers 82 ou même au-dessous de ce chiffre, et à un tant pour 100 d'eau variant entre 7 et 8 %.

QUANTITÉ D'ÉGOUTS QUI DOIVENT RENTRER. — La quantité d'égout qui doit rentrer dans la masse cuite de 1^{er} jet est considérable, et varie naturellement suivant le coefficient de la masse cuite d'une part et le coefficient de l'égout d'autre part.

En prenant pour ces deux éléments les chiffres moyens de 90 et 65 nous calculerons que pour faire 100 kilogrammes d'une masse cuite à 82 de pureté il faudra :

$$\frac{100(82-65)}{(90-65)} = 68 \text{ kil. de masse cuite initiale.}$$

et $100 - 68 = 32 \text{ kil. de masse cuite provenant de l'égout à 65.}$

QUANTITÉ DE SUCRE BLANC OBTENUE. — Quand on désire produire des sucres blancs, soit par lavage, soit autrement, la qualité des sucres est d'autant plus belle que les égouts rentrés à la cuite sont plus pauvres. On comprend, en effet, que plus les égouts sont pauvres, moins ceux-ci abandonnent de sucre par cristallisation, sucre dont la nuance est nécessairement moindre que celle provenant du jus de betteraves dont la pureté est plus considérable.

APPLICATION DU PROCÉDÉ EN PRATIQUE. — Les considérations théoriques que nous venons d'exposer se confirment absolument dans la pratique. Il ne s'agit donc, pour obtenir le maximum de rendement, que de faire une cuite ayant une composition telle qu'elle renferme :

7 à 8 pour cent d'eau
82 à 80 de quotient de pureté.

C'est-à-dire que le rapport entre l'eau et le non-sucre y soit de :

1 : 2 ou même de 1 : 1,8

Pour réaliser cette rentrée des égouts en pratique, on peut procéder de deux façons :

a) *Rentrée des égouts à la cuite.*

Supposons que la capacité de l'appareil soit de 125 hectolitres, que la pureté des égouts soit 65, la pureté des jus concentrés 90 et qu'on désire obtenir une masse ayant 82 de quotient.

On commence la cuite de manière ordinaire, en faisant beaucoup de grain et en serrant la cuite à 90° C, et très légère.

Dès que l'appareil de cuite contiendra.

$$\frac{125 \times 68}{100} = 85 \text{ hectolitres de masse cuite.}$$

On desséchera la masse à 4 % d'eau, et on continuera ensuite à cuire les égouts préalablement dilués à 60° Brix, jusqu'à ce que la masse cuite dans l'appareil atteigne le trait de jauge de 125 hectolitres. On terminera la cuite en y laissant *un peu moins* d'eau que la quantité de 7 à 8 % fixée. La masse cuite sera coulée ensuite dans le malaxeur et refroidie pendant 18 à 20 heures. Pendant le refroidissement on ajoutera, sous forme de sirop à 60° Brix, obtenu au moyen d'égouts à 65 de pureté, la petite quantité d'eau qui pourrait manquer dans la masse. Cette manière de procéder est très simple et facile à conduire. Elle a l'inconvénient d'exiger une capacité considérable pour les appareils à cuire les 1^{ers} jets. —

b) *Rentrée des égouts dans le réfrigérant.*

Ce système est non moins bon que le précédent, mais un peu moins facile à conduire.

Supposons toujours que nous désirions obtenir une masse cuite dans les mêmes conditions de qualité et de quantité que ci-dessus.

$$\begin{aligned} 125 \text{ hectol.} \times 148 &= 18.500 \text{ kil. constitués pour 125 hectol.} \\ \text{Dont : } \frac{18.500 \times 68}{100} &= 12.580 \text{ kil. constitués par de la masse cuite pure,} \\ \text{et : } 18.500 - 12.580 &= 5.920 \text{ kil. provenant des égouts.} \end{aligned}$$

Supposons que l'analyse des égouts soit :

Brix	84,00
Sucre.	54,60
Eau	16,00
Pureté	65,00

Admettons que nous désirions avoir dans notre masse cuite refroidie à 82 de quotient, 7,5 % d'eau.

La quantité totale d'eau dans cette cuite sera donc de :

$$\frac{18.500 \times 7,5}{100} = 1.387 \text{ kil.}$$

Par la rentrée de 5.920 kilogrammes d'égouts on amène dans la masse :

$$\frac{5.920 \times 16}{100} = 947 \text{ kil. d'eau.}$$

La masse cuite pure ne pourra donc contenir que :

$$1.387 - 947 = 440 \text{ kil. d'eau.}$$

Or, si 12.580 contiennent 440 kilogrammes d'eau,

$$100 \text{ contiendront } \frac{440 \times 100}{12.580} = 3,5 \text{ kil. d'eau.}$$

Afin d'éviter la difficulté de lâcher une cuite renfermant aussi peu d'eau par la sortie généralement étroite des appareils usuels, il y aura lieu d'aspirer, dans tous les cas, une certaine quantité d'égouts dans la cuite même, afin de faciliter la descente de la masse cuite. Le restant de l'égout qui doit aller directement dans le malaxeur sera préalablement réchauffé (par serpentín et non par injection de vapeur) à une température minimum de 70°C., puis versé dans le malaxeur au moment où la masse cuite pure y est introduite.

En général il sera plus facile de réchauffer et de concentrer légèrement (à 42 ou 48° Baumé) les égouts qui rentrent dans le malaxeur, au moyen d'un appareil à cuire les sirops et installé à proximité des appareils à cuire 1^{er} jet. De cette façon on pourra moins serrer la cuite 1^{er} jet et on pourra régler plus facilement le tant pour cent d'eau du mélange.

DÉTERMINATION DES RENDEMENTS. — Le rendement d'une masse cuite en sucre d'une qualité quelconque se déterminera très facilement en prenant pour base les coefficients de pureté de la masse pure et la pureté des sirops ou égouts extraits.

Supposons une masse cuite pure, sans égout, composée comme suit :

Brix	93,00
Eau	7,00
Sucre.	84,63
Non-sucre	8,37
Pureté	91,00

Et abandonnant par turbinage un égout ayant la composition suivante :

Brix	83,00	} 100,00
Sucre	53,95	
Non-sucre	29,05	
Eau	17,00	
Pureté	65,00	

Dans cet égout :

$$29,05 \text{ parties de non-sucre immobilisent } 53,95 \text{ parties de sucre.}$$

$$1 \quad - \quad - \quad - \quad 1,85 \quad -$$

Dans la masse cuite ci-dessus nous avons 8,37 de non-sucre ; si nous décomposons idéalement cette masse cuite en sucre pur et sec et en un sirop à 65 de quotient ayant la composition indiquée ci-dessus, il résultera que dans ce sirop nous aurons :

$$8,37 \times 1,85 = 15,48 \text{ de sucre.}$$

Cette quantité déduite de la polarisation de la masse cuite nous donnera :

$$84,63 - 15,48 = 69,15 \text{ de sucre pur}$$

extractible de la masse cuite, et

$$100 - 69,15 = 30,85 \text{ kil. d'égout ayant } 65 \text{ de quotient}$$

et, pour le reste, la même composition que le sirop ci-dessus.

Si au lieu de faire du sucre blanc nous faisons du sucre roux, une certaine quantité de sirop d'égout restera adhérent aux cristaux de sucre, ce qui augmentera le poids du sucre extrait et diminuera le poids de l'égout résiduaire.

Admettons qu'après turbinage il reste dans le sucre brut 1,5 % d'eau, cette quantité d'eau correspondra à une certaine quantité d'égout que nous allons évaluer :

$$17 \text{ kil. d'eau correspondent à } 100 \text{ kil. d'égout.}$$

$$1 \quad - \quad - \quad \frac{100}{17} = 5,88 \text{ d'égout.}$$

Dans notre sucre à 1,5 % d'eau nous aurons donc introduit :

$$1,5 \times 5,88 = 8,82 \text{ kil. d'égout.}$$

C'est-à-dire qu'en sucre roux nous aurons :

$$\begin{aligned} 69,15 + 8,82 &= 77,97 \text{ kil. de sucre brut} \\ \text{et } 100 - 77,97 &= 22,00 \text{ kil. d'égout.} \end{aligned}$$

Par le « lavage » l'égout aura un quotient qui ne dépassera pas 60 de pureté. Dans ces conditions le rendement en blanc serait de :

$$\begin{aligned} 8,37 \times 1,5 &= 12,55 \text{ (sucre dans l'égout)} \\ 84,63 - 12,55 &= 72,05 \text{ kil. (sucre pur extractible).} \end{aligned}$$

En résumé, d'une masse cuite ayant la composition ci-dessus, il est possible d'obtenir par un travail soigné en 1^{er} jet :

A. — *En sucre blanc et sec, par lavage :*

$$\begin{aligned} \text{Par 100 kil. de masse cuite.} & \dots \dots \dots 72 \text{ kil.} \\ \text{Soit par hectolitre} & \dots \dots \dots 108 \text{ —} \end{aligned}$$

B. — *En sucre blanc et sec par le système de lavage mixte et clairçage par 2^e jet :*

$$\begin{aligned} \text{Par 100 kil. de masse cuite.} & \dots \dots \dots 69,15 \text{ kil.} \\ \text{Soit par hectolitre} & \dots \dots \dots 103,72 \text{ —} \end{aligned}$$

C. — *En sucre roux rendement 89^o :*

$$\begin{aligned} \text{Par 100 kil. de masse cuite.} & \dots \dots \dots 77,97 \text{ kil.} \\ \text{Soit par hectolitre} & \dots \dots \dots 116,95 \text{ —} \end{aligned}$$

VOLUME DES MALAXEURS 1^{er} JET. — Nous admettons comme base 140 kilogrammes de masse cuite pure pour 1.000 kilogrammes de betteraves. Quantité maximum d'égout à rentrer 40 % de la masse cuite pure. Comme poids total nous aurons donc :

$$140 + \frac{140 \times 40}{100} = 140 + 56 = 196 \text{ kil. de masse cuite.}$$

A 148 kilogrammes à l'hectolitre, cela fait :

$$\frac{196 \times 100}{148} = 1,3 \text{ hectolitres.}$$

Si nous admettons une durée de 20 heures de malaxage, il faudra compter que pour la vidange, nettoyage, emplissage, imprévu, un malaxeur ne recevra qu'une charge de masse cuite par 24 heures. Nous pouvons donc admettre que pour 1.000 kilogrammes de betteraves mis en œuvre par jour il faudra une capacité de 1,3 hectolitre de malaxeur.

Si donc une sucrerie fait 250.000 kilogrammes en 24 heures, il lui faudra :

$$250 \times 1,3 = 325 \text{ hectolitres.}$$

Si le travail se fait en blanc par turbine et rentrée des clairces provenant de la refonte des bruts 2^e jet, il nous faut compter :

$$1 \text{ hectol. } 8 \text{ au lieu de } 1 \text{ hectol. } 3.$$

Les chiffres ci-dessus sont basés sur l'emploi de cristallisoirs ayant une capacité maxima de 200 hectolitres. Pour des malaxeurs plus grands il y aura lieu d'augmenter les bases susdites à cause de la lenteur plus grande du refroidissement.

$$\begin{array}{r} \text{Soit } 1,5 \text{ au lieu de } 1,3 \\ - 2,0 \quad - \quad 1,8 \end{array}$$

CAPACITÉ DES MALAXEURS 2^e JET. — La capacité des cristallisoirs 2^e jet ne peut que difficilement être établie sans connaître les conditions dans lesquelles la sucrerie est montée et le travail qu'elle désire effectuer.

En général, pour obtenir une mélasse résiduaire de 59 à 60 de pureté, il faut en cristallisoirs 2^e jet :

Pour 1.000 kilogrammes de betteraves par jour 2,2 hectolitres si le travail se fait en roux.

Pour 1.000 kilogrammes de betteraves par jour 2,5 hectolitres si le travail se fait en blanc et avec refonte des roux 2^e jet et clairçage dans les turbines.

Les chiffres ci-dessus sont basés sur une cristallisation de cinq jours et un amorçage artificiel de la masse 2^e jet. —

CONTROLE. — Pour obtenir les meilleurs résultats, il est indispensable de contrôler le travail par les analyses.

Nous préconisons pour surveiller l'épuisement des masses cuites un contrôle tel que celui figuré ci-après figure 152. Si les résultats des analyses sont inscrits sous forme de courbes où les divers facteurs qui influent sur l'épuisement de l'égout résiduaire sont représentés, l'influence de ces facteurs y est rendue nettement visible.

Si nous examinons les dix cuites dont l'auteur nous donne la feuille de contrôle, et que nous les classions en cuites à basse pureté (109-110), moyenne pureté (104-106-107-111), grande pureté (102-103-105-108) nous remarquons de leur comparaison que les cuites les plus aqueuses sont celles qui donnent les égouts les plus riches.

Donc, pour obtenir un égout pauvre il faut serrer les cuites.

Nous remarquons aussi que les cuites les plus riches donnent les égouts les plus riches.

Donc, pour obtenir un égout pauvre il faut partir d'une cuite pauvre.

Enfin nous remarquons que les cuites riches peuvent donner des égouts pauvres en les serrant beaucoup (cuite 102) ce qui est le corollaire des deux propositions précédentes.

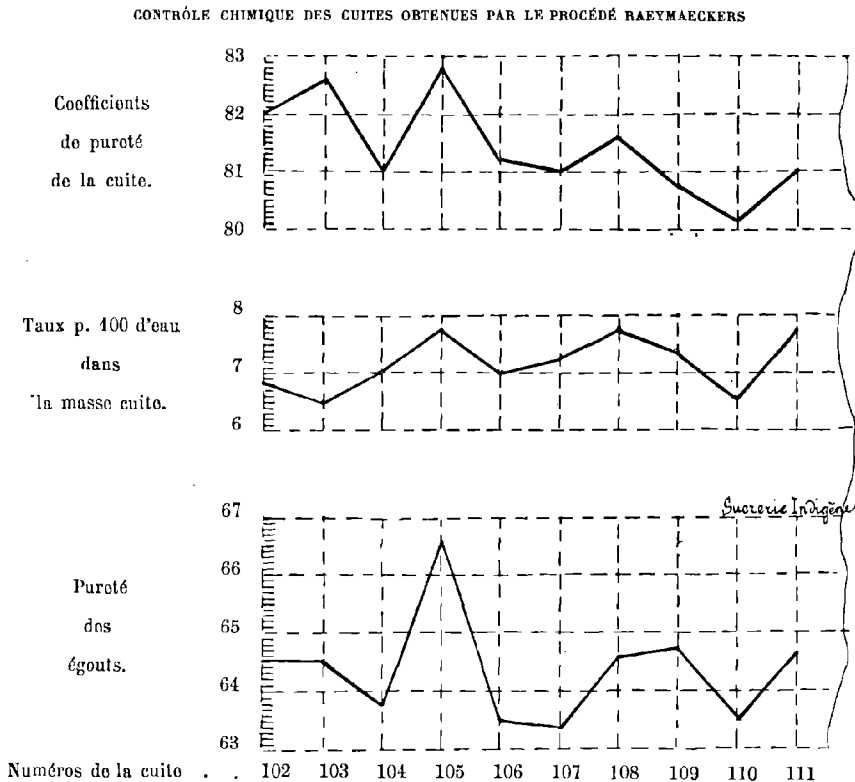


Fig. 152.

Ces remarques nous fournissent d'intéressantes données sur la manière de conduire la cuite avec rentrées d'égout :

1° Abaisser le plus possible la pureté de la cuite en rentrant le plus d'égout possible, autant que le permet la cristallisation du produit;

2° Serrer la cuite le plus possible avant de couler.

Ces propositions tirées du contrôle pratique sont parfaitement d'accord avec ce qu'avance le brevet Reymaekers, et sont d'un utile enseigne-

ment pour notre sujet. En effet la meilleure de toutes ces cuites est le n° 110 qui correspond à une pureté de la masse de 80,2, avec 6,6 d'eau, donnant 63,5 de pureté. La plus mauvaise est la cuite 105 qui a une pureté de 82,8 avec 7,8 d'eau, qui ne donne que 66,6 de pureté.

Nous ferons une remarque intéressante sur l'esprit même du travail de Raeymaeckers.

L'auteur part de ce principe que le rapport du non-sucre à l'eau dans la mélasse étant de 2 à 1, il faut ramener la masse cuite à n'avoir entre le non-sucre et l'eau que ce rapport pour en tirer des égouts pauvres. C'est la base fondamentale du procédé. Et pour y arriver il faut introduire dans la masse des mélasses inertes jusqu'à ce qu'on arrive au rapport désiré. Et alors on dessèche la masse au point voulu et on coule.

Nous nous sommes étendus précédemment à l'article *viscosité* sur les raisons de cette pratique qui donne les résultats signalés et recherchés par l'auteur dans son brevet.

Procédé Manoury. — Manoury a pris en 1894 un brevet ainsi conçu :

« Ce procédé de préparation des masses en sucrerie et raffinerie en vue d'en obtenir directement du sucre et de la mélasse, repose sur : a l'introduction vers la fin de la cuite, à la suite de l'examen de la composition de la masse cuite, d'une quantité de mélasse calculée afin qu'après évaporation du mélange au degré de siccité voulu pour en permettre le turbinage, cette eau-mère se compose uniquement de mélasse ; b l'introduction de la masse cuite dans un malaxeur servant à refroidir à la température du local des turbines et à faciliter l'introduction de la quantité d'eau exactement nécessaire pour dissoudre seulement le sucre et non le précipiter par l'abaissement de la température. »

Ce procédé prit le nom de « sucre et mélasse. »

Comme le turbinage donne naturellement des égouts riches, Manoury, quand il appliqua son procédé à Gonesse en 1895, dut les faire rentrer dans la cuite. Quoique ce ne soit pas mentionné dans son brevet, il est tellement naturel d'agir ainsi que cette opération va de soi.

Voici comment est décrite l'opération par la « Sucrerie indigène » (15 oct. 95.)

« La cuite est commencée comme à l'ordinaire avec du sirop de betteraves évaporé dans le triple-effet à 25° Baumé. Lorsque l'appareil est rempli aux deux tiers environ, on cesse complètement l'alimentation avec le sirop et on continue la cuite avec l'égout riche des turbines, jusqu'à ce que toute la réserve disponible de cet égout ait été totale-

« ment absorbée. Arrivé à ce point, on continue cette fois à alimenter « avec l'égout pauvre ou mélasse chauffé à 60° tel qu'il sort des turbines, « et cela jusqu'à ce que l'appareil soit plein. A ce moment on serre la « cuite jusqu'à ce qu'elle contienne environ 6 % d'eau et on coule. »

Suit la description du malaxeur qui est à double-enveloppe pour refroidir rapidement. Mais, nouveau changement au brevet, au lieu d'ajouter de l'eau pendant le refroidissement, on délaie la cuite avec de la mélasse étendue à 35° Baumé, ce qui est encore absolument naturel, étant données les antériorités.

Enfin en 1898 Manoury donne le secret de son mode opératoire pour obtenir les résultats demandés. Il suffit de *ne pas serrer la cuite* au moment où l'on introduit les égouts riches, ce qui s'est toujours fait, d'introduire les égouts pauvres quand la cuite contient 10 % d'eau, et de ne couler au malaxeur que des cuites à 8 ou 9 % d'eau.

Dans le brevet on parle du « degré de siccité voulu pour permettre le turbinage » terme très vague. En 1895 on donne 6 % d'eau pour cette quantité. En 1898 c'est 8 à 9 %.

Nous voyons par cet exposé les métamorphoses que la pratique a fait subir au procédé Manoury. Et non seulement la pratique, mais la lecture du travail de Claassen de 1897 qui enseigne que les cuites serrées ont une tendance à donner des sirops sursaturés capables de fournir du fin grain par le refroidissement.

Le procédé Manoury n'est donc que la résultante des recherches faites par son auteur sur tous les procédés et publications antérieures, le tout classé et groupé pour en faire un système qui ait quelque chance de se tenir debout tout en étant très simple.

Le raisonnement de Manoury est juste. Dans une masse cuite bien conduite, terminée par des rentrées d'égouts riches, puis pauvres, on ne doit avoir que des cristaux de sucre baignés dans de la mélasse. Si l'on calcule les quantités d'égout à rentrer pour n'avoir en présence du non-sucre total que l'eau nécessaire pour le dissoudre, on devra forcément avoir cristaux de sucre et mélasse dans la masse.

Le turbinage malheureusement change l'équilibre, et l'on obtient mélasse, égout riche et sucre, ce qui force aux rentrées d'égout riche.

La difficulté est ce calcul constant des quantités de rentrées à faire, et l'évaluation des propriétés mélassigènes des non-sucreaux aux différentes époques de la fabrication.

Néanmoins le procédé Manoury, quoique contesté comme originalité et antériorité, n'en fut pas moins une bonne indication donnée aux fabricants de sucre en 1894 sur la manière dont ils devaient conduire leur travail pour obtenir plus de premier jet par les rentrées d'égout, et à

ce point de vue les fabricants lui doivent de la reconnaissance. D'ailleurs les chimistes de sucrerie ont à cette époque exprimé leur gratitude à M. Manoury en une récompense que lui donna leur Société.

Procédé Abraham. — Abraham de Kieff a imaginé tout un dispositif d'usine pour traiter les masses cuites, et en particulier celles de second jet, afin de faire sucre et mélasse.

Il a publié en 1897 les idées qui l'ont conduit à cet arrangement.

Abraham part de cette vérité que, si l'on a reconnu que dans une masse cuite il soit nécessaire d'avoir par exemple 200 cristaux au centimètre cube, il est préférable d'introduire tout faits ces 200 cristaux que de courir le risque d'en former plus ou moins par un grainage aléatoire.

Mais il faut que ces cristaux soient préparés spécialement pour cet usage; car, ajouter dans un sirop au point de cuite des cristaux de sucre achevés provenant d'une cuite précédente ou même une portion d'une masse cuite antérieure, ne peut amener à aucun bon résultat; en effet on ne peut espérer augmenter indéfiniment le volume des cristaux, d'autres se formeront infailliblement en grains fins à côté.

Si donc on a une cuite en grains fins contenant 1.000 cristaux par centimètre cube, il suffira d'en introduire $\frac{1}{5}$ dans le sirop normal pour avoir un pied de cuite amorcé à 200 cristaux, et la cuite se continuera sur cette base quelle que soit l'habileté ou l'inexpérience du cuiseur.

Ces idées appliquées à la masse cuite de 2^e jet se complètent par la nécessité de cuire lentement. Il faut donc de grands appareils à cuire les 2^{es}. Il faut aussi faire suivre la cuite d'un travail en malaxeurs pour terminer l'épuisement du sirop. Enfin le malaxage dans la cuite même est nécessaire pour rendre la cristallisation plus rapide et diminuer d'autant le temps de cuite.

Dans ces conditions Abraham, avec 6 heures de cuite de 2^e jet et 48 heures de malaxage, obtient des égouts à 53-58 de pureté.

Pour appliquer son procédé, Abraham fait d'abord une cuite en grains d'égout riche. A peine grainée il la coule dans un malaxeur spécial. C'est son amorce.

Du malaxeur la quantité nécessaire à une cuite coule dans un cylindre vertical muni d'un agitateur.

La cuite à grainer est commencée comme la cuite ordinaire, et, quand le pied de cuite est amené au filet, on aspire le contenu du cylindre, puis on continue la cuite en nourrissant le grain le plus longtemps possible. Enfin on coule dans des malaxeurs ouverts sans refroidisseurs où la masse reste deux à trois jours avant d'être turbinée, délayée en temps opportun avec de la mélasse pour conserver sa fluidité.

Cuite Reboux. — Après la description des procédés de cristallisation empruntant à la chaudière à cuire et aux malaxeurs leur effet respectif de cristallisation, viennent ceux qui, cherchant à se passer du malaxeur, font tout le travail dans la chaudière à cuire elle-même, munie dès lors d'appareils de malaxage.

La cuite Reboux paraît être le premier appareil de ce genre construit dans ce but. Malheureusement la mort de son auteur arrêta l'élan de cette invention intéressante.

Cuite Grossé (fig. 153). — Coger, directeur de la sucrerie de Venizel, a fait en 1899 au syndicat des Fabricants de sucre de France un exposé de la méthode Grossé. Nous en extrayons le passage suivant qui est typique :

« Si, dans un emplî convenablement chauffé, on coule une masse sucrée cuite au point voulu, le travail de la cristallisation commencera et continuera jusqu'à ce qu'il y ait, par le fait même de la cristallisation, assez de sucre séparé des eaux-mères pour que celles-ci ne soient plus saturées à la température de l'emplî. A partir de ce moment la cristallisation ne sera plus possible que si on peut évaporer l'excès d'eau...

« De là à opérer dans un appareil à cuire il n'y avait qu'un pas, on se trouvait maître de la température et de l'évaporation... etc. »

Ces quelques mots expliquent tout le principe de la méthode Grossé ; faire dans une chaudière à cuire ce qui se passe dans un emplî, et évaporer l'eau des eaux-mères au fur et à mesure que celles-ci se produisent désaturées.

Pour activer la cristallisation d'un sirop, le mouvement est tout indiqué par ce que nous avons appris antérieurement. Grossé a donc établi dans sa cuite un mouvement. Cette chaudière étant verticale, il a établi une hélice verticale qui remonte la cuite du bas en haut, uniformisant ainsi masse et température, déplaçant sans cesse les cristaux de manière à ce qu'ils trouvent à chaque instant un centre nouveau de nutrition. Il fit donc un bac d'emplî chaud, en mouvement et dans le vide.

Le désucrage d'un sirop d'égout est lent. Grossé se conforma à cette exigence, et fit sa cuite lentement, soit 60 à 70 heures ; et pendant ce temps il évapore lentement les eaux-mères jusqu'à ce que ces eaux-mères ne soient plus que de la mélasse. Tel est le procédé.

Après cet exposé il nous reste peu de chose à dire du procédé Grossé.

L'appareil est une chaudière à cuire verticale très haute, soit 4^m,80 de hauteur pour 2^m,80 de diamètre. A la partie inférieure sont disposés trois serpentins formant une surface de chauffe de 25 mètres carrés.

Au centre est disposée une cheminée dans laquelle tourne un axe

muni de palettes inclinées qui ramène du bas à la surface la masse cuite par un mouvement lent, mais assurant le mélange suffisant comme dans tout malaxeur. Des thermomètres donnent la température de la masse en haut et en bas. L'appareil comporte en outre toutes les armatures ordinaires d'une chaudière à cuire.

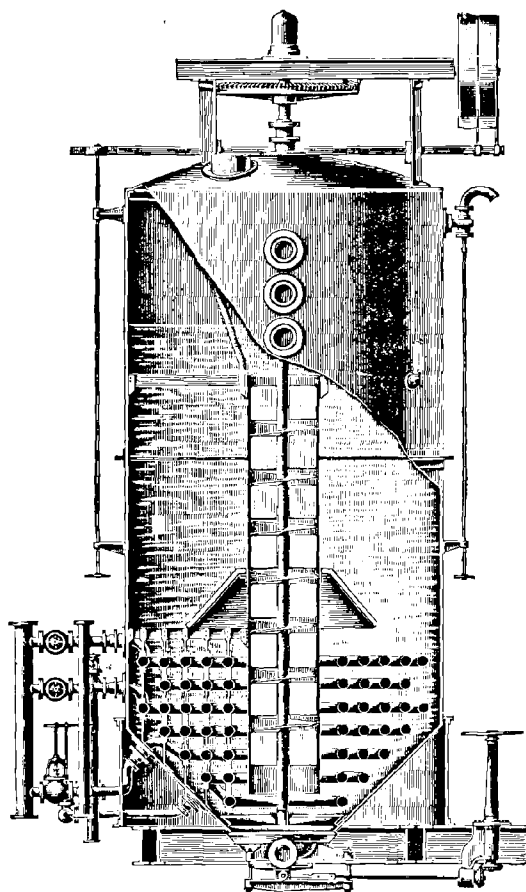


Fig. 133.

On commence à faire un pied de cuite avec peu de vide, à 100° environ, et on graine. Puis on alimente doucement jusqu'aux trois quarts de la cuite, celle-ci ayant 70° en moyenne. On marche liquide jusque là, et à ce moment on alimente et termine la cuite avec des égouts très pauvres. Cette opération dure 24 heures. On est arrivé au point où commence la nutrition des grains formés et l'épuisement des eaux-mères.

Alors on met tout le vide sur la cuite, et l'on chauffe lentement, la température de la masse n'étant plus que de 55 à 60°, et cela pendant 40 heures consécutives, en supprimant même le chauffage pendant les dernières heures.

La masse ainsi produite est coulée dans un malaxeur quelconque pour la maintenir homogène, et turbinée.

A Venizel pour un travail de 250 tonnes de betteraves par 24 heures ils avaient deux cuites Grossé contenant 230 à 250 hectolitres de masse. Leurs égouts à cuire possédaient une pureté moyenne de 79,7 et 11,89 de quotient salin. Ils ont retiré de là du sucre jaune qui fut refondu dans le travail, et un égout de 60,5 de pureté et 5,10 de quotient salin, moyenne de toute la mélasse produite.

Ces chiffres sont élevés, mais les égouts à cuire étaient aussi trop riches, car on ne faisait pas la séparation au turbinage. De plus on clairçait les roux afin de les rendre assez secs, pour cause de difficultés d'établissement premier, en sorte qu'on y refondait un peu de sucre.

Il est probable qu'en traitant dans l'appareil Grossé des produits plus pauvres, bien travaillés pour pouvoir grainer, on arriverait à y faire les mêmes produits que ceux qui sortent de tout autre malaxeur. Cela dépend donc surtout de la nature des liquides que l'on entre à la cuite.

§ 9. — Effet utile des cristallisoirs.

La cristallisation se continue-t-elle dans les cristallisoirs en mouvement?

Nous revenons sur ce point controversé. Selon les uns le cristallisoir n'est qu'un malaxeur qui prépare la masse au turbinage sans l'enrichir. Selon d'autres la masse s'enrichit de tout le désucrage des sirops en présence.

Il est évident que dans ce cas, comme dans bien d'autres, tout le monde a raison, les circonstances seules sont différentes.

Si dans la chaudière à cuire on désucre complètement les sirops, il va de soi que le malaxeur sera sans effet.

Si au contraire la cuite est conduite dans le but unique de faire l'amorce initiale nécessaire au désucrage, et de mettre en présence les liquides à désucre, le cristallisoir en mouvement augmentera la cristallisation.

Il n'est pas nécessaire d'appuyer longuement sur ce point. En relisant le travail de Claassen ou de Raeymaeckers on verra qu'il y a réellement cristallisation dans les malaxeurs.

Dans le procédé Manoury au contraire il n'y a pas cristallisation. Mais

selon Claassen le travail dans la cuite est préférable, et le cristalliseur n'en est qu'un complément médiocre.

Faut-il une double enveloppe aux cristalliseurs pour les refroidir avec de l'eau ? nous avons déjà répondu mathématiquement à cette question. L'épuisement est proportionnel à la racine carrée du temps et à la racine quatrième de l'abaissement de la température, par conséquent le temps a une influence beaucoup plus grande que le refroidissement. Mais comme en malaxant pendant 14 ou 15 heures la masse se refroidit d'elle-même il est arrivé que bien souvent il était inutile d'avoir recours à la circulation d'eau, ce qui fait que les uns ont été d'avis de refroidir et les autres non, d'autant plus que le résultat final étant affecté d'un coefficient à la racine quatrième, la différence était souvent trop faible pour qu'on s'en aperçoive par le rendement pratique.

Nous avons traité précédemment cette question complètement.

On a donné aux appareils destinés à la cristallisation en mouvement différentes formes. L'appareil primitif de Bocquin et Lipchinsky était un demi-cylindre rehaussé, dans l'axe duquel tournait un agitateur à bras avec une vitesse de 1 à 1,5 tour par minute. Il était entouré d'une chemise permettant une circulation d'eau tout autour de la masse pour la refroidir.

Cette forme primitive a été conservée par la majorité des constructeurs. Seulement les bras ont été remplacés par des ellipses en fer méplat reliées à l'axe par de fortes armatures de fer. En effet les bras devaient être reliés entre eux, car la masse à remuer est fort lourde et donne une énorme résistance à vaincre, capable de tordre un bras isolé. Les ellipses étant inclinées sur l'arbre et alternées à droite et à gauche, les efforts sont mieux équilibrés, et la masse est remuée plus efficacement.

D'autres constructeurs, à la suite de Hucke et Lauke firent les malaxeurs complètement cylindriques. Hucke et Lauke entourent leurs appareils d'une chemise pour chauffer à la vapeur et refroidir à l'eau ensuite. Les imitateurs firent de même, et la chemise tantôt enveloppe tout le cylindre, tantôt n'en recouvre que la moitié inférieure. De plus ces cylindres peuvent se clore complètement pour y faire le vide ou la pression, et présentent à la partie supérieure un trou d'homme pour visiter l'appareil. L'échantillonnage de la masse se fait au moyen d'un robinet-sonde placé sur le devant.

Enfin Ragot a remplacé les bras et ellipses des malaxeurs par des serpentins tournant dans la masse, et portant des bras qui relient les serpentins à l'axe et ajoutent leur action pour effectuer le malaxage. Dans ces serpentins on fait passer à volonté l'eau ou la vapeur. A cet

effet l'axe est creux et c'est sur lui que se relient les extrémités des serpentins. Ce système permet d'être beaucoup plus maître de la température de la masse, l'organe refroidisseur étant sans cesse plongé dedans. Son effet utile est beaucoup plus grand que celui des enveloppes extérieures, ce qui donne la faculté de conduire beaucoup plus exactement le travail. Le système Ragot peut se mettre dans tous les cristallisoirs hémicylindriques ou cylindriques, supprime la double-enveloppe, et est absolument recommandable à tous les points de vue, même au point de vue de l'économie de la force motrice.

Quelques fabricants, voulant utiliser leur vieux matériel, ont imaginé de mettre dans des bacs d'empli des malaxeurs formés d'un arbre vertical muni de bras. Ce système marche bien. Seulement il faut faire tourner l'axe deux fois plus vite que dans les appareils horizontaux, 2 à 3 tours par minute, pour éviter le dépôt des cristaux dans le fond et dans les angles des bacs. D'où résulte que la masse doit être maintenue toujours plus fluide que dans les malaxeurs horizontaux. Il est donc nécessaire d'ajouter dans ces appareils une quantité de mélasse épuisée plus grande, ce qui n'a aucun inconvénient. Nous avons suivi ce travail dans une sucrerie Russe, à Stara-Siniava, et les rendements étaient analogues à ceux d'autres sucreries munies de cristallisoirs horizontaux.

§ 10. — Résumé.

Nous avons vu que la difficulté qu'offre le sucre à cristalliser de ses solutions provient :

1° De l'excès de chaleur latente que présente le sucre dans ses dissolutions, et qu'il faut éliminer avant qu'il puisse cristalliser. Selon les idées émises par de nombreux savants on change ainsi le sucre amorphe des dissolutions en sucre cristallisable.

2° Le sucre amorphe étant plus soluble dans l'eau que le sucre à l'état cristallin, la sursaturation des solutions sucrées n'est que la manifestation de l'état physique du sucre dans ces solutions, puisque certains sirops cristallisent avec 160 de sursaturation et d'autres avec 110 par exemple, 100 étant le point de cristallisation sans sursaturation. Donc toute solution sursaturée est encore loin de son épuisement, puisque l'on doit avant tout changer la nature physique du sucre qu'elle contient.

Les solutions non sursaturées à teneur égale de sucre abandonneront donc plus facilement leur saccharose que les autres; et comme la solubilité du sucre cristallin est plus faible que celle du sucre amorphe, une

solution étendue de sucre cristallin abandonnera plus vite son sucre qu'une solution sursaturée concentrée.

La sursaturation est donc un obstacle à la cristallisation.

3° Certains sels métalliques empêchent la cristallisation du sucre. D'autres sont indifférents, sinon favorables. D'autres enfin sont favorables ou défavorables suivant leur quantité, comme le chlorure de calcium. Les sels organiques ont les mêmes propriétés; mais quelques-uns agissent mécaniquement pour retenir une grande quantité d'eau en présence, comme de véritables éponges, dissolvant dès lors la quantité de sucre correspondante à cet excès d'eau.

4° Les sels métalliques et organiques, le sucre lui-même, augmentent la viscosité du liquide, et empêchent les molécules de sucre dissoutes de se rapprocher des molécules concrétées à l'état de cristaux. C'est une action toute mécanique.

Nous voyons donc que nous avons des actions *physiques* (chaleur latente, sursaturation), des actions *chimiques* (sels, sucro-sels, etc.), et des actions *mécaniques* (viscosité) qui empêchent la cristallation du sucre.

Les actions physiques sont lentes, mais on en vient à bout avec *le temps*. L'amorçage et le refroidissement sont les principaux moyens pour les combattre.

Les actions chimiques ne peuvent se vaincre que par d'autres actions chimiques. C'est le travail d'épuration des jus et sirops qui nous en rendront maîtres dans les limites du possible.

Les actions mécaniques de la viscosité devront être équilibrées par d'autres actions mécaniques. L'addition de matières inertes séparera les molécules sucrées des matières mélassigènes qui les enrobent, le mouvement mettra en contact ces molécules sucrées avec les cristaux de sucre dont l'attraction moléculaire sera devenue plus forte que l'action capillaire des matières visqueuses qui les retenait auparavant, enfin la concentration convenable et préalable aura rapproché ces molécules au point tel que le mouvement ait son effet le plus efficace. Chacune de ces actions mécaniques doit donc être proportionnée à la nature du sirop en traitement.

De plus la chaleur appliquée au début de l'opération est un moyen héroïque de combattre la viscosité, puisque cette action coercitive de la viscosité diminue avec l'élévation de la température. Mais comme elle est contraire au but que l'on se propose qui est la cristallisation, on ne devra s'en servir qu'au début pour obtenir le plus vite possible une grande masse de cristaux, et laisser refroidir doucement pour arriver à l'épuisement. Mais il est évident que les dernières portions de sucre

seront très difficiles à récupérer, et que l'épuisement complet est l'asymptote d'une courbe représentant le travail idéal de la masse cuite.

Si donc nous avons un sirop bien épuré, dans lequel on aura modifié autant que possible la nature des sels préexistants pour les rendre moins mélassigènes, tel que transformer les carbonates en chlorures ou en sulfites; si nous concentrons le plus possible ce sirop, c'est-à-dire si nous diminuons sa teneur en eau par rapport au sucre dissout, ce que nous avons vu devoir se faire en présence de liquides inertes qui, malgré la concentration, conservent la fluidité relative du liquide; si enfin nous amorçons ce sirop et que nous le mettons en mouvement pendant un temps plus ou moins long suivant sa nature et sa résistance à la cristallisation, nous devrions sortir tout le sucre que ne retiendront pas l'eau, les sels et matières organiques que nous laissons en présence.

Ces déductions concordent absolument avec la pratique des principaux procédés proposés par les auteurs, ou répandus dans les usines. En effet sans nous préoccuper des moyens d'épuration ou de fluidification des sirops, nous voyons que, dans tous, on diminue par évaporation l'eau qui sépare les molécules sucrées, on y ajoute sous la forme de mélasse ou d'égouts pauvres des matières inertes en grande quantité qui amènent avec elles la quantité d'eau nécessaire à maintenir la masse fluide, et l'on chauffe au préalable pour vaincre l'action mécanique de la viscosité. Sur un pareil mélange le malaxage aura plus d'influence que sur un sirop pur que l'on ne pourra pas concentrer et l'élément *temps* entrera pour une grande part dans le résultat final de la cristallisation. Pendant le malaxage les actions physiques naturelles de la cristallisation, celles dont nous ne sommes pas maîtres, se produiront. En présence des cristaux-amorces et de ceux déjà formés, la chaleur latente du sucre amorphe, ainsi que celle provenant du travail même de la cristallisation, se dégageront en suivant la loi de la racine carrée du temps que nous avons établie à la suite du travail de Claassen.

Par conséquent, étant donné un sirop dont nous connaissons la composition, il faut d'abord évaluer la quantité de sucre que ses sels et matières organiques pourront retenir dans la mélasse finale, la quantité d'eau indispensable qui entrera dans cette mélasse, et ne laisser dans la cuite que cette quantité d'eau strictement calculée d'avance. Seulement, comme une pareille cuite ne pourrait couler, employer le stratagème de la dilution dans de la mélasse inerte en proportion convenable pour que la masse finale concentrée ne contienne que 6 à 7 % d'eau.

Si l'on fait des rentrées d'égout dans le sirop, quelle que soit la nature de ces sirops, calculer encore de même manière la mélasse finale et la quantité d'eau à laisser dans la cuite, la proportion des rentrées étant

limitée par la facilité de cristallisation du mélange suivant sa composition. Telle masse devra avoir au moins 90 de pureté, telle autre pourra descendre à 86 si les égouts pauvres bien préparés permettent une bonne cristallisation avec cette pureté. Et l'on a avantage à avoir des masses à 86 plutôt qu'à 90, puisque l'égout de cette masse sera d'autant plus pauvre que la masse sera plus pauvre elle-même. A la fin de la cuite, ajouter encore la mélasse inerte nécessaire pour permettre de serrer et couler.

En général les masses sans rentrées d'égouts donnent de plus beaux sucres que les masses obtenues avec rentrées, la masse inerte ajoutée à la fin n'ayant aucune influence. Mais si les égouts rentrés sont capables de donner eux-mêmes de beaux sucres, comme avec l'emploi de l'acide hydrosulfureux, ou de l'osmose, il n'y a aucun danger de les utiliser.

Nous avons déjà, par anticipation, à propos de l'acide sulfureux parlé des rentrées d'égout et de la manière de les faire, nous y reviendrons à propos du turbinage et du procédé Steffen.

§ 11. — Conclusion.

De tout ce qui précède il résulte qu'il y a cinq moyens d'extraire le sucre d'un sirop :

1° Le cuire au filet, le couler dans un malaxeur et l'amorcer, c'est le procédé Stammer-Bock ;

2° Le cuire partiellement pour former une amorce, le couler dans un malaxeur dans lequel on fait les rentrées.

C'est le procédé Raeymaeckers (deuxième manière) et le procédé Abraham ;

3° Faire la cuite totalement dans la chaudière avec ses rentrées et couler dans un malaxeur qui ne sert que de refroidisseur.

Procédé Raeymaeckers (première manière) et Manoury ;

4° Le procédé mixte de Huke et Lauke, cuire partiellement dans la chaudière, partiellement dans le malaxeur ;

5° Cuire dans une grande chaudière à mouvement intérieur servant en même temps de malaxeur (cuites Grossé et autres).

A notre avis, tous ces procédés doivent donner sensiblement le même résultat, sucre et mélasse, si les rentrées sont bien entendues et l'ensemble bien mené suivant les saines méthodes qu'enseignent les propriétés physiques et chimiques des sirops.

Sauf le procédé Stammer-Bock, tous les autres ont de tels degrés de parenté que l'on peut se demander quel sera le meilleur à employer.

Il est évident que cela dépendra du matériel préexistant dans les usines. Qui a des malaxeurs pourra employer avec avantage la deuxième manière, parce que des cuites ordinaires suffiront.

Si l'on a de grandes cuites, le troisième procédé sera préférable, car on aura besoin de moins de malaxeurs.

Et si l'on construit une usine neuve? Il faudra, sans que cela fasse aucun doute, de grandes cuites, dans lesquelles on évapore longtemps, à basse pression, avec des vapeurs froides (premier et deuxième corps du quadruple-effet); c'est le meilleur moyen d'avoir vite un bon rendement, libre au fabricant de prendre les grandes cuites horizontales Lexa, que nous recommandons cependant tout spécialement, et deux malaxeurs par cuite pour le premier jet, quatre pour les seconds, ou bien la cuite Reboux ou Grossé pour les seconds jets, avec un malaxeur pour entretenir l'homogénéité de la cuite.

LIVRE NEUVIÈME

CLAIRÇAGE

CHAPITRE PREMIER

TURBINAGE

§ 1. — Historique.

Lorsque l'on a obtenu la masse cuite en grain il faut séparer les grains de sucre du sirop impur qui les entourent. Au moment où Rillieux inventa le triple-effet avec cuite à effets multiples, dans laquelle se produisit la première masse cuite en grain, en 1846, on se servit en Amérique d'un appareil de clairçage nommé *tigre*. C'est une caisse à double-fond dans laquelle on coule la masse chaude. On fait le vide dans le bas de cette caisse et les égouts s'écoulent. Puis on clairce, et selon ce qu'en dit B. Dureau dans sa *notice sur la Fabrication du sucre en Louisiane* (1852) « en grainant dans l'appareil un sirop suffisamment décoloré, on obtient, à l'aide d'une seule clairce, des sucres en grain parfaitement blancs. »

C'est vers 1850 que la cuite en grain commença à prendre son essor en France. C'est vers cette époque également que pénétra dans nos sucreries la turbine inventée en 1849 par M. Rohts Seyrig. Comme on ne connaissait pas les tigres américains, la turbine fut une véritable révolution dans l'industrie sucrière. Cela venait en même temps que le triple-effet et le procédé Rousseau. La sucrerie de betterave avait donc à cette époque tout son matériel complet ; ce fut l'aurore de la sucrerie moderne.

Remarquons que Steffen est revenu dans ses procédés nouveaux aux tigres d'autrefois, par le clairçage dans les *nulches* autrichiens, tant il est vrai que l'invention n'est souvent que le retour aux procédés anciens perfectionnés, parce que ces perfectionnements correspondent à des besoins nouveaux en rapport avec un travail plus parfait des usines.

Telle est en quelques mots l'histoire du clairçage de la cuite en grain, la seule qui nous occupe en ce moment, laissant de côté intentionnelle-

ment les formes des premières sucreries qui remontent aux temps les plus reculés de l'histoire de notre industrie.

§ 2. — Bacs à masse cuite.

Lorsque l'on ne fait pas usage de la cristallisation en mouvement, au sortir de la chaudière à cuire, la masse tombe dans de grands bacs plats dans lesquels elle se refroidit. A la manière dont elle coule dans les bacs, on reconnaît facilement la qualité de la masse. Une bonne masse doit être sèche, c'est-à-dire qu'en la frappant fortement avec le plat de la main, celle-ci ne doit retenir ni sucre ni mélasse : si la main se colle, si elle pénètre profondément et facilement dans la masse, si elle s'enrobe de mélasse, on a autant de preuves d'une cuite défectueuse. Une masse sèche coule en se cassant, et s'étale lentement dans le bac, avec une couleur mate jaunâtre. Un aspect noirâtre, un écoulement facile dans les bacs sont la preuve d'un mauvais travail.

D'après l'aspect même de la masse telle que nous l'avons décrit, on jugera facilement de l'efficacité et du rendement du turbinage, ainsi que des difficultés que l'on rencontrera. Quel que soit le type de sucre que l'on veuille produire, il est évident qu'une masse sèche, c'est-à-dire en grains bien nets et bien séparés, et imprégnés d'une mélasse peu riche en sucre, sera plus facile à travailler que cette masse gommeuse et collante dont nous parlions en second lieu. Le turbinage consistera donc à employer la machine qui se nomme *turbine* ou *centrifuge* dans les meilleures conditions possibles pour obtenir le plus de grain possible au type convenu, dans les conditions de temps les plus économiques.

§ 3. — Moulin diviseur.

Lorsque la masse est jugée suffisamment prise et refroidie, et les uns pensent qu'une heure ou deux après le coulage suffit, d'autres préfèrent attendre dix à vingt-quatre heures, on la découpe à la bêche ou à la pioche, et on la mélange dans un moulin diviseur avec une certaine quantité d'égout de premier jet, pour en faire une masse pâteuse, semi-fluide, sans grumeaux.

Ces moulins se composent d'un tambour horizontal muni de longues dents métalliques, qui présentent grossièrement la forme d'un couteau et sont fixées en hélice sur ce tambour. Tout le système est animé d'un mouvement suffisamment lent, et tourne dans une auge hémicylindrique, surmontée d'une trémie. Au-dessus du tambour, et

presque tangente, une grille en fonte ferme la trémie, de telle sorte qu'entre les barreaux de la grille passent les dents du tambour. Lorsque la masse et la mélasse sont jetées dans la machine, les dents brisent les morceaux qu'elles entraînent dans leur mouvement circulaire, et quand on juge que la trituration est suffisante, on ouvre une soupape inférieure, par laquelle s'échappe le mélange tout prêt à être turbiné. Tel est le principe de la machine dont la forme varie avec les constructeurs. La masse est reçue dans des bacs contenant 25 kilogrammes de matière que l'on porte à la turbine soit sur des chariots, soit sur un chemin de fer approprié, soit encore dans des bennes roulant sur des rails placés à la partie supérieure de la pièce, et se déversant dans les turbines. Il faut verser deux de ces bacs par turbine du modèle Cail.

Le travail des bacs est pénible et demande un grand nombre d'ouvriers exercés. On a eu dès lors l'idée de recevoir la masse triturée dans des noyères munies de malaxeurs et qui, placées parallèlement aux turbines déverseraient directement dans leurs paniers la masse préparée.

Des portes disposées en face de chaque turbine font cet office. De plus on a placé en face de chaque porte des mesureurs de masse cuite.

Grâce à tout cet ensemble la main-d'œuvre a fortement diminué.

Nous décrirons plus loin une installation complète de ce genre.

§ 4. — Température à laquelle on doit turbiner.

Quand la masse est tombée dans les bacs, elle est chaude. Certains fabricants la turbinent immédiatement, d'autres préfèrent attendre qu'elle soit complètement refroidie. La raison de ces préférences dépend de la qualité du sucre que l'on veut produire.

Dans la masse cuite, telle qu'elle sort de l'appareil, le sucre est bien cristallisé, bien détaché, bien brillant.

Si on laisse refroidir la masse qui est formée de cristaux et de sirop d'égout encore cristallisable, celui-ci, en se refroidissant abandonne la quantité de sucre correspondant à la différence de saturation à chaud et à froid. Ce sucre pourrait nourrir le grain. Mais, à cause du repos absolu auquel est soumise la masse, il se forme une certaine quantité de grains nouveaux très fins et dont quelques-uns viennent se coller sur les grains déjà formés.

Le turbinage à chaud donne donc moins de rendement que le turbinage à froid, mais le grain est plus beau, plus brillant.

Si donc on cherche le beau grain, il faut turbiner à chaud ; si l'on n'a que le rendement en vue, il faut laisser refroidir la masse.

De plus le turbinage à chaud va beaucoup plus vite que le turbinage

à froid, ce qui se conçoit à cause de la plus grande fluidité de la mélasse qui enrobe les cristaux. Si donc on est faible en turbine le turbinage à chaud s'impose.

Ces considérations fixent donc les fabricants sur la méthode qu'ils doivent employer dans leurs usines.

§ 5. — Caisses Schutzenbach.

Au lieu de couler la masse cuite dans des grands bacs où elle se refroidit, on se sert parfois de petites caisses d'une contenance environ de 75 litres, en quantité suffisante pour y emmagasiner toute la masse d'un appareil. Ces petits bacs présentent sur deux côtés opposés deux boutons qui servent à les suspendre sur un chariot à deux grandes roues.

Au moment de la coulée on prépare plusieurs de ces bacs à la suite les uns des autres et on les pousse successivement sous la nochère aussitôt que l'un d'eux est plein et emporté. De la sorte il n'y a pas d'interruption dans la coulée.

On place toutes ces caisses pleines côte à côte dans une partie de la salle du turbinage réservée à cet effet, et l'on attend leur entier refroidissement. A ce moment on les reprend et les enlève au moyen d'un élévateur à l'étage au-dessus des turbines, où se trouve le moulin-diviseur de masse cuite.

Ces petits bacs qui portent le nom de leur premier auteur, Schutzenbach, ont environ 70 centimètres de haut, et sont plus larges en haut qu'en bas, de manière à ce que, renversés, le pain de masse cuite puisse sortir aisément. Ils sont donc renversés au-dessus du moulin diviseur. Puis, pour aider le lochage du pain, on débouche un petit trou placé dans le fond, et on y ajuste la buse d'un tuyau d'air comprimé qui pousse le pain.

Celui-ci tombe lourdement dans le moulin qui le dévore avec ses dents aigus jusqu'au bout. On a soin pendant cette opération de faire couler dans le moulin un peu de mélasse pour aider au délayage de la masse.

L'emploi des Schutzenbach occupe une grande main-d'œuvre, mais supprime celle si pénible du pelletage de la masse cuite.

Aujourd'hui on l'abandonne de plus en plus depuis l'invention du malaxeur Bocquin et Lipchinsky et de la cristallisation en mouvement.

Le rendement des Schutzenbach était supérieur à celui des grands bacs, parce que la cristallisation semblait s'y terminer plus complètement et plus régulièrement. Mais les cristaux n'y étaient pas aussi nets et

aussi beaux. Aussi ce système était-il employé surtout dans les sucreries qui faisaient des sucres roux en premier jet. Le rendement des Schutzenbach est évalué à 4 ou 5 % plus élevé que celui des grands bacs.

§ 6. — Turbines.

Les turbines, ou centrifuges, se composent essentiellement d'un tambour vertical en fer percé de trous, et animé d'une vitesse rotatoire sur son axe de 800 à 1.200 tours à la minute. L'intérieur du tambour, qui est fermé à sa partie inférieure et ouvert à sa partie supérieure, est tapissé d'une toile métallique très fine en laiton. C'est dans ce tambour que l'on verse la masse cuite ; la force centrifuge la chasse le long des parois, de telle sorte qu'elle en garnit toute la surface verticale. La mélasse, sous l'effet de cette pression contre la toile métallique, la traverse ainsi que les trous du tambour, et est recueillie par un second tambour fixe, qui enveloppe le premier de toutes parts, et présente inférieurement une rigole par laquelle s'écoulent les liquides. Pour faciliter la régularité de l'épandage de la masse dans le tambour intérieur, on garnit l'axe vertical qui lui communique le mouvement d'un manchon conique dont l'angle au sommet est de 50 degrés, et ayant sa base sur le fond de la turbine et son sommet à la hauteur du bord supérieur.

La turbine peut recevoir le mouvement de deux manières différentes, soit sur l'axe prolongé au-dessus du cylindre, soit sur cet axe prolongé au-dessous. Les premières, qui sont faites sur le modèle français, et spécialement sur celui de la maison Cail, ont un rendement supérieur. Les secondes, ou turbines allemandes, sont beaucoup plus commodes. Les premières demandent un scellement inébranlable, les secondes se mettent en place sans même que le châssis de bois qui les porte ait besoin d'être boulonné sur le sol. Le mécanisme des premières est plus facile à inspecter que celui des secondes, et la force nécessaire pour les mettre en mouvement, à rendement égal, est moindre, mais l'entretien des secondes dont les mouvements sont plus souples, est moins dispendieux, et lorsqu'elles sont bien graissées, leurs coussinets s'usent moins que chez les premières, en sorte que le bruit qu'elles font entendre est presque nul, tandis que les turbines françaises sont parfois étourdissantes. Bref, chacun des modèles a du pour et du contre ; celui qui dispose de beaucoup de force et de beaucoup de place prendra de préférence les secondes, tandis que les premières s'arrangent mieux que les secondes d'un espace restreint et d'une force moins grande.

TURBINES A MOUVEMENT EN DESSUS

Les turbines, à mouvement supérieur (fig. 154), se composent d'un cylindre-enveloppe en fonte A, muni extérieurement, à la partie inférieure,

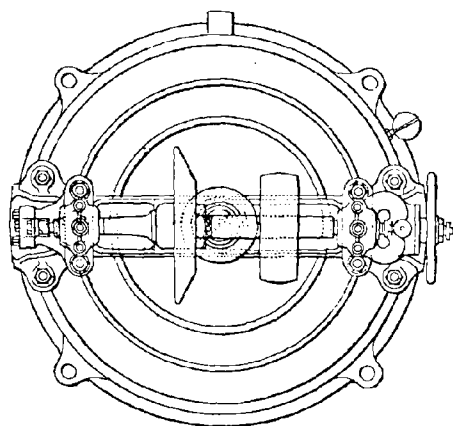
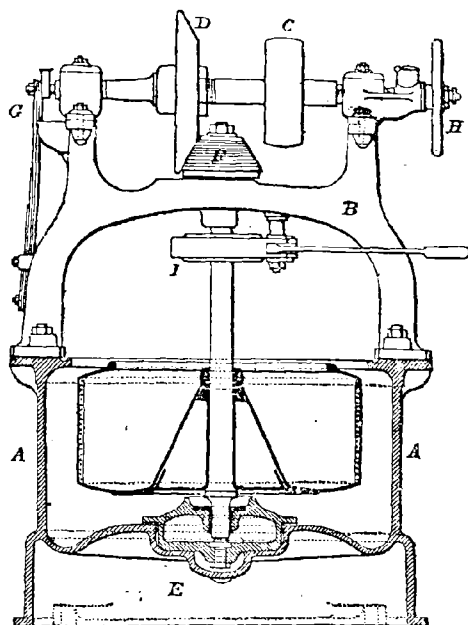


Fig. 154.

de quatre pattes servant à visser les boulons de scellement. Sur ce cylindre s'élève une arcade B, portant à la partie supérieure, au-dessus de l'axe proprement dit, un axe horizontal sur lequel se trouve la poulie motrice C, et un cône à friction en fonte D, servant à communiquer le mouvement à la turbine. A cet effet l'axe vertical du tambour intérieur repose sur une crapaudine de forme spéciale E, placée dans le fond du cylindre-enveloppe et assurant un graissage parfait, traverse l'arc entre deux coussinets, et porte en tête un cône de friction F, formé de rondelles de cuir ou de carton superposées et serrées entre elles par un fort écrou qui se visse sur la tête filetée de l'axe vertical. L'axe moteur horizontal peut glisser dans ses coussinets horizontalement, aucun collet ne l'arrête. Il est maintenu en place, d'un bout, par un fort ressort G, qui tend toujours à serrer les deux cônes, et de l'autre par une vis H munie d'un volant qui permet d'effectuer ou d'empêcher le frottement des deux cônes moteurs, suivant que l'on veut arrêter ou faire marcher la turbine.

Un frein I placé sur l'axe vertical, au-dessous de l'arcade permet d'arrêter la rotation, lorsque les cônes sont desserrés. On remarque que le mouvement est donné sur l'extrémité de l'axe vertical qui est en porte-à-faux, ce qui fait que la moindre négligence dans le graissage, l'inspection et la réparation des coussinets fait gripper ceux-ci et provoque une trépidation produisant un bruit désagréable et sourd et occasionnant bientôt aussi la détérioration de la crapaudine inférieure. De plus le mouvement étant donné à la machine très haut au-dessus du point d'attache au sol, les scellements doivent être solides et souvent vérifiés, ainsi que l'horizontalité parfaite des cylindres.

TURBINES A MOUVEMENT EN DESSOUS.

La turbine allemande, au contraire, est placée en porte-à-faux sur l'axe ; mais elle tourne comme une toupie, et par conséquent est sujette à un mouvement de nutation inévitable. On a donc dû parer à cet incon-

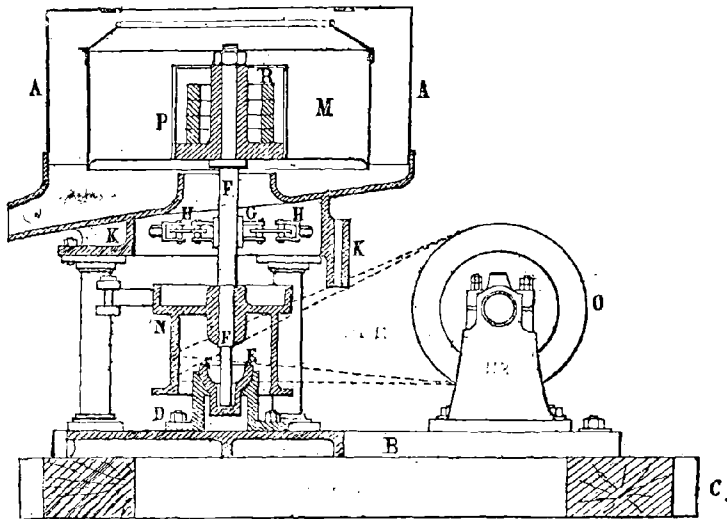


Fig. 155.

venient en mettant les coussinets sur ressorts. Voici comment on y est arrivé : le cylindre-enveloppe A (fig. 155 et 156), est porté sur trois ou quatre colonnettes placées sur un châssis métallique solide B, boulonné lui-même sur un châssis en bois C. Dans l'axe du cylindre, entre les pieds, sur le châssis métallique, est fixée une large crapaudine de forme

sphérique D. Dans cette crapaudine repose une demi-sphère E, servant elle-même de crapaudine à l'axe de la turbine F, en sorte que cet axe peut balancer à droite et à gauche; la crapaudine fait genoux et suit tous les mouvements. L'axe, immédiatement au-dessous du cylindre-enveloppe passe dans un collier G muni de coussinets, retenu en place par six entretoises H articulées près du collier; ces entretoises traversent et dépassent le bâti circulaire K qui réunit les quatre têtes des colonnettes et se terminent par un boulon I. Entre le bâti et le boulon se trouve un espace vide qui est rempli par un fort tube en caoutchouc L dans lequel est engagée l'extrémité dépassant de l'entretoise, et qui fait ressort lorsque le mouvement de nutation tend à retirer l'entretoise en

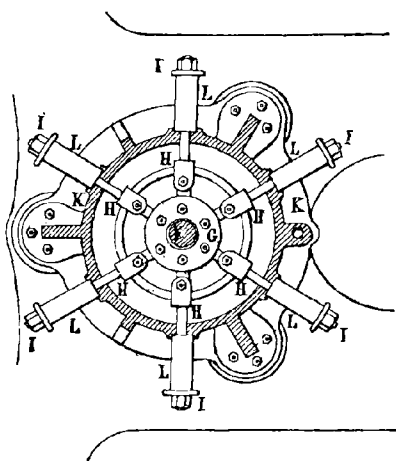


Fig. 136.

arrière. Au-dessus du collier l'axe se continue, et porte le tambour intérieur M. Le mouvement est communiqué à l'axe par une poulie large N qui recouvre comme une cloche la crapaudine inférieure. Sur cette poulie passe une courroie qui reçoit elle-même son mouvement d'une poulie O à axe horizontal, laquelle est mue par une seconde poulie portée sur le même axe, actionnée elle-même par une courroie partant de l'arbre moteur général. Il y a donc deux transmissions de mouvement, ce qui perd de la force; le mouvement est communiqué à l'axe vertical à sa partie

tout à fait inférieure, dans le plan même de la crapaudine, ce qui évite tout effort de traction sur l'arbre, et permet tous les mouvements de nutation sans changer sensiblement la longueur nécessaire à donner à la courroie.

Fesca a imaginé pour ce genre de turbines un *régulateur* destiné à corriger l'influence d'un chargement défectueux. En effet, si la turbine est plus chargée d'un côté que de l'autre elle sera sujette à des nutations très accentuées et pourra même battre contre son enveloppe et se briser, si toutefois elle ne provoque pas d'accidents. C'est aussi la difficulté des chargements parfaits qui détériore si vite les coussinets des turbines à mouvement en dessus. Le régulateur Fesca est placé à l'intérieur du cône distributeur qui se trouve au centre du panier. Il se compose (fig. 155) d'une boîte cylindrique P résistante, placée verticalement dans

l'axe de l'appareil, contenant, empilés à l'intérieur, quatre à six anneaux en bronze R plats et bien dressés, et dont le diamètre est plus petit que celui de la caisse. Lorsque la turbine se met en marche les disques ballotent suivant le mouvement du panier. Mais bientôt la vitesse s'accroît, la force centrifuge les projette contre les parois de la boîte dans tous les sens, et ils viennent se placer de telle sorte qu'ils font équilibre à la matière contenue dans le panier de manière que l'axe devient vertical, l'imperfection du chargement étant corrigée par le décentrage des disques à l'intérieur du cylindre central.

Enfin un frein placé sur l'arbre vertical, et dont la poignée est près du turbineur, une poulie folle sur l'arbre de transmission complètent la machine. N'oublions pas cependant de dire qu'entre le châssis métallique qui supporte toute la machine et le châssis de bois sur lequel on boulonne le second, on intercale à chaque boulon une rondelle épaisse en caoutchouc destinée à diminuer les trépidations, ce qui est d'un très bon effet et permet de placer le châssis de bois n'importe où et sans le fixer.

Les turbines allemandes se placent à une distance de 1^m,75 d'axe en axe, et 4 mètres entre deux lignes de turbine.

On a cherché à perfectionner la turbine allemande de manière à lui donner plus de stabilité et diminuer les nutations. La turbine Reischauer répond à ce desideratum. En effet l'axe vertical au lieu d'être fixé au bas du panier, prend son point d'appui dans le haut du cône central. De la sorte le centre de gravité du panier est plus bas que le point d'attache, et l'on peut placer le premier coussinet au niveau de ce centre de gravité, sans avoir besoin de le retenir avec des ressorts. Tous les coussinets étant fixes le mouvement est beaucoup plus doux et la turbine plus stable.

TURBINES WESTON

Enfin nous citerons une troisième espèce de turbine, système Weston (fig. 157), dans laquelle le panier A est suspendu en l'air. Le point d'attache de son axe vertical B est sur l'extrémité d'un autre axe fixe C, intérieur au premier, qui porte à cet effet à cette extrémité une pile de petits galets d'acier D parfaitement lubrifiés, percés en leur centre pour laisser passer l'arbre fixe suffisamment aminci et terminé par un double boulon d'arrêt; c'est sur ces galets que repose un talon intérieur de l'axe mobile et que s'exécute toute la rotation. Le mouvement est communiqué à l'axe par une poulie E placée à son extrémité supérieure, laquelle est, comme le frein F, près du point d'attache de l'arbre fixe. Ce

point d'attache n'est pas rigide, car il repose sur un disque en caoutchouc G, en sorte que le centrifuge peut être animé d'un mouvement

de nutation sans que la courroie change de longueur, et sans que, à cause même de la disposition du centre de rotation qui est à demi-longueur environ de l'axe mobile, les conditions d'équilibre de la machine soient changées. Autour du panier une caisse fixe en tôle H reçoit la mélasse projetée.

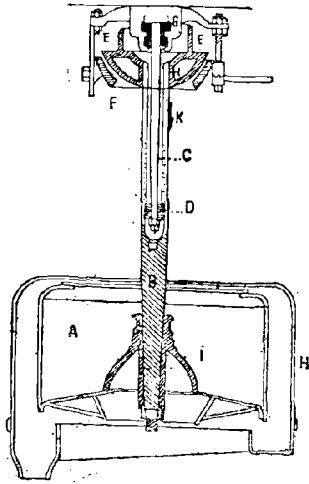


Fig. 137.

La vidange de l'appareil se fait par la partie inférieure du panier dont le cône central I peut se soulever à la main, et est retenu alors en l'air par un ressort K. Cet ingénieux appareil dont chaque partie mériterait un mention spéciale est surtout employé dans les colonies. Les turbines sont groupées par quatre, avec un vaste malaxeur à leur partie supérieure, qui sert de trémie pour remplir les pa-

niers de masse cuite. En Russie elles tendent à se répandre beaucoup plus qu'ailleurs en Europe et nous les avons vu employer exclusivement dans un certain nombre d'usines.

TURBINAGE CONTINU

Le travail intermittent des turbines oblige à un nombreux personnel et cause des pertes de sucre inévitables. Depuis longtemps on est à la recherche d'une turbine continue. Beaucoup ont vu le jour, mais sont restées en route; une seule a survécu, et semble au point. Mais son prix élevé ne lui a pas encore permis de se répandre. C'est la turbine Sczeniowsky et Piontkowsky.

Elle se compose essentiellement d'un panier conique renversé, faisant 470 tours par minute, ayant 1^m,500 à sa partie supérieure et muni comme dans une turbine ordinaire de sa toile métallique. L'angle du cône est de 45°.

On verse la masse, bien malaxée, dans une cheminée centrale garnie de trous à la partie inférieure. Par ces trous la masse se répand dans la turbine, et rencontre immédiatement un diaphragme qui limite l'épaisseur sous laquelle elle pourra s'étendre sur la toile.

Par la force centrifuge la masse fluide tend à monter le long de la paroi inclinée pour se projeter dehors. Mais en montant elle perd sa mélasse et quand elle arrive en haut on ne retrouve plus que des cristaux de sucre, en mince épaisseur, puisque la surface filtrante va en croissant du bas en haut. De plus, arrivé en haut, le sucre est obligé de passer dans un espace restreint par un contre-cône dont on limite l'écartement de manière à retarder de la quantité voulue le mouvement du sucre. C'est à ce moment que l'on opère le clairçage à la vapeur.

Enfin le sucre s'échappe du panier sous un couvercle qui le force à tomber dans une noyère tournant dans le même sens, mais ne faisant qu'un tour par minute. Là des palettes et des brosses évacuent le sucre au dehors, le tout étant arrangé de façon à ce que les cristaux n'éprouvent aucun choc qui puisse les détériorer. La vapeur de clairçage est évacuée dehors au moyen d'un ventilateur formé de palettes fixées à la turbine, et les égouts s'écoulent par un trou percé à la partie inférieure de la cuve en fonte qui enveloppe tout l'appareil. On peut même faire la séparation des égouts riches et pauvres qui coulent par deux trous différents.

L'axe de la turbine peut recevoir un mouvement vertical au moyen d'un engrenage mû extérieurement. C'est ainsi que l'on règle le débit de l'appareil, diminuant ou augmentant ainsi l'écartement du cône avec le contre-cône.

Cet appareil peut produire 1.800 kilogrammes de sucre blanc par heure, ou 2.200 kilogrammes de sucre roux.

Nous devons une mention spéciale à la *Turbine automatique Thomas*. Ce n'est pas une turbine continue, mais elle a pour but de supprimer la main-d'œuvre en faisant automatiquement toutes les manœuvres que l'on demande à l'ouvrier pour faire une bonne opération.

En effet, l'arbre de transmission et l'axe de la turbine portent une série d'organes, cames, déclics et régulateur à boule qui font toutes les opérations successives du turbinage. Le panier étant presque arrêté, le mesureur s'emplit, puis se vide dans le panier; ensuite la turbine prend sa vitesse, et au moment voulu le clairçage au sirop et à la vapeur se font successivement. Enfin le mouvement se ralentit, des portes de décharge s'ouvrent au fond du panier, des palettes raclent la toile métallique et font tomber le sucre sur l'entraîneur. Puis la turbine reprend un peu de vitesse, s'emplit de nouveau et ainsi de suite, sans que l'on soit obligé de s'en occuper aucunement.

Quand les cames sont bien réglées pour le travail que l'on veut faire, l'appareil fait un très bon travail. Il n'est pas continu, mais il résout le même problème que la continuité en écartant tous soins autres que la

surveillance que demande toute machine. A ce point de vue la turbine Thomas méritait que nous nous arrétions pour la connaître un peu, quoiqu'elle ne soit pas arrivée encore à son entière perfection.

§ 7. — Conduite du turbinage.

Quel que soit le modèle de turbine employé, on y verse une quantité suffisante de masse cuite, comme nous le verrons plus loin, on donne à la main un mouvement de rotation au panier, et l'on embraie la mise en marche. La masse qui occupait le fond au moment du chargement, est chassée petit à petit par la force centrifuge du centre à la circonférence ; on la voit monter le long de la paroi et s'y appliquer tout entière laissant libre tout le centre de l'appareil.

Bientôt la masse blanchit. En effet les cristaux retenus par la toile métallique restent collés contre elle, tandis que la mélasse s'échappe projetée sur la paroi du tambour extérieur.

Mais les cristaux de sucre sont encore jaunâtres, souillés par la mélasse qui reste à leur surface. Pour les *laver* on verse dans la turbine une solution saturée de sucre appelée *clairce* qui s'échappe en traversant la couche de cristaux et entraînant avec elle la mélasse qui entourait les cristaux. On fait ainsi plusieurs clairçages successifs.

La clairce dont on se sert ordinairement est de l'égout riche légèrement jaunâtre, quelquefois chargé d'un peu de bleu d'azur et étendue à 30° Baumé. On la distribue dans la turbine soit au moyen de casseroles ou de brocs de capacité déterminée, que l'on déverse sur le cône central, en sorte que la clairce se répande également en pluie sur toute la surface du sucre, soit, ce qui est préférable, en se servant d'un arrosoir à long bec que l'on promène lentement le long de la paroi sucrée en faisant un léger arrêt en haut et en bas, pour que cette partie du sucre ait autant de clairce que les autres.

On distribue encore la clairce comme on le voit (fig. 158), au moyen d'un tuyau déversant sur le cône intérieur le contenu d'un petit réservoir où la clairce est jaugée d'avance.

On laisse encore tourner, puis, lorsqu'il ne coule plus rien de la turbine, si l'on veut obtenir un sucre parfaitement blanc, on clairce à la vapeur. A cet effet la vapeur a été amenée dans la salle de turbinage dans un réservoir où elle se purge de toute son humidité ; cette vapeur sèche est conduite au-dessus de chaque turbine par un tuyau muni d'un purgeur. La distribution de la vapeur dans la turbine se fait ordinairement avec un tuyau de cuivre fixe, percé de trous, de manière à répartir également partout la vapeur ; on l'a fait aussi à la main, au moyen d'une

lance que l'on dirige dans la turbine. Ce dernier moyen a été usité dans les turbines allemandes. On laisse ensuite pendant quelques minutes encore tourner le centrifuge pour sécher le sucre, et enfin on arrête; on enlève le sucre au moyen de mains en cuivre rouge, en le détachant de la turbine sans frapper, ou le coupant, s'il est trop résistant, au moyen d'un morceau de cuivre rouge denté; puis on lave de nouveau, et la turbine est bonne à remettre en marche.

La durée du turbinage, varie suivant la qualité du sucre que l'on veut obtenir, de 10 à 12 minutes et même jusqu'à 33 minutes comme en Russie. En faisant varier les données du travail on obtient des sucres de toutes nuances. Le fabricant choisira celle qui sera la plus rémunératrice.

Les toiles métalliques des turbines étant sujettes à s'obstruer facilement par le sucre et la mélasse interposés, on lave la surface abondamment avec de l'eau et une brosse en chiendent. On a soin de ne pas trop brusquer la toile, car elle est posée sur de gros fils de cuivre enroulés intérieurement autour du tambour en tôle perforée pour l'en isoler, et ces chocs peuvent dès lors la percer facilement. Or, chaque trou cause une fuite énorme de sucre dans les mélasses, vu que, à ce point, il se forme un trou dans la croûte de sucre turbiné qui recouvre la toile; mais ce trou s'évase en cône de 90° au sommet, ce qui correspond pour une épaisseur de sucre de 5 centimètres à une perte mesurable de plus de 130 grammes de sucre en cristaux par trou et par turbinage, sans compter celles que l'on ne peut observer aux premiers instants de la rotation; soit 300 grammes de perte par heure et par trou, pour dix heures 3 kilogrammes, pour 100 jours 300 kilogrammes. On a donc tout intérêt à soigner les toiles des turbines, et à les remplacer quand elles sont en mauvais état.

Après cette description, on conçoit de suite l'importance réelle qu'il y a à bien cuire, c'est-à-dire à cuire en grains réguliers et de la même grosseur. Dans ce cas, en effet, tout le grain reste dans la turbine, tandis que, dans le cas où le gros grain est mélangé de grains fins, grains formés d'ailleurs au détriment des autres ou mal nourris pendant la deuxième période d'évaporation, ces derniers passent aux mélasses et nécessitent une nouvelle cuite et, par conséquent, de nouveaux frais, pour être récupérés.

En effet, M. Borodouline, indique comme suit les pertes de sucre que fait subir le turbinage, en basant ses observations sur le travail type dont nous avons cité un extrait du même auteur à propos de la cuite.

	100 KILOS de masse ont donné	SUCRE en cristaux	SUCRE en solution	NON-SUCRE et eau	SUCRE 0/0 de masse
La masse cuite contient.		66.60	13.60	19.80	80.2
100 kilogs de masse cuite tur- binés sans clairçage ni vapeur se sont réduits à	64.2	56.46	3.12	4.62	92.8
100 kilogs de masse cuite tur- binés avec clairçage sans va- peur se réduisent à	58.5	54.90	1.90	3.20	97.1
400 kilogs de masse initiale tur- binés avec clairçage et blan- chissage à la vapeur se rédui- sent à	50.8	50.20	0.00	0.60	98.8

On voit donc combien on est loin d'extraire les 66 % de sucre en cristaux que contient la masse. La perte subie dans cette opération est donc :

Dans le turbinage pur et simple.	10,14 0/0 de cristaux.
— par le clairçage	1,56 —
— par la vaporisation	4,70 —
Total	16,40

De ces trois causes de perte, c'est la toile du centrifuge qui constitue la plus importante. Borodouline fait remarquer, d'ailleurs, que ces 16 % de cristaux de sucre blanc, premier jet, perdus par suite de l'imperfection du turbinage, représentent à peu près la totalité du sucre blanc retiré par la recuite des deuxièmes et troisièmes produits. On voit donc une fois de plus combien est importante l'opération de la cuite, et combien on doit être circonspect dans le choix d'un cuiseur.

La seconde cause de perte la plus sensible est le clairçage à la vapeur, et, de plus, c'est une opération très dispendieuse. On a cherché à obvier à ces inconvénients, et on y est arrivé en employant le clairçage à la vapeur sèche détendue, même mélangée d'air en certaine proportion. En effet, le but du clairçage est l'évacuation de la mélasse interposée, mélasse que l'on déplace par substitution. Au lieu de cela, si on la rendait plus fluide en la réchauffant, elle s'écoulerait sous l'influence seule de la force centrifuge et d'un clairçage peu important. C'est à quoi on arrive en fermant complètement les turbines et exécutant la rotation dans une atmosphère chaude d'air et de vapeur détendue. Nous reviendrons sur ce travail qui donne les meilleurs résultats.

La pression totale qui s'exerce le long des parois du tambour de la turbine en vertu de la force centrifuge est facile à calculer. Elle est donnée par la formule

$$\frac{M \cdot C^2}{G \cdot R},$$

Dans laquelle :

M = poids en kilogrammes de la masse à turbiner;

G = l'accélération de la pesanteur, soit à Paris = 9^m,8088;

R = rayon du tambour;

C = vitesse par seconde en mètres, dont est animé chaque point de la circonférence du tambour.

Exemple : soit 1.000 révolutions par minute pour un tambour de 1 mètre de diamètre chargé de 150 kilogrammes de masse cuite, chaque point de la surface parcourt donc 3140 mètres par minute ou 52^m,30 par seconde :

$$\text{donc :} \quad C^2 = 52,23^2 = 2735,29$$

$$\text{donc :} \quad \frac{M C^2}{G R} = \frac{150 \times 2735,29}{9,8088 \times 0,50} = 83^k,733.$$

C'est la pression totale maxima sur la surface du tambour. Cette surface est égale à $3,14 \times 0,40 = 1^m,256$; chaque centimètre carré de surface est donc soumis à $\frac{83,733}{12,560} = 6^k,6 = 6$ atmosphères 7/10.

Clairçage à l'air et à la vapeur. — Nous venons de voir les inconvénients du clairçage à la vapeur qui dissout beaucoup de sucre. Nous avons dit aussi que l'on a remplacé le turbinage en vase ouvert par le turbinage en vase clos de manière à ce que la masse se trouve dans une atmosphère chaude qui donne plus de fluidité à la mélasse qui enrobe les cristaux.

Dans l'application de ce système, la vapeur, au lieu d'être projetée dans le panier de la turbine est envoyée à l'extérieur, entre le panier et l'enveloppe extérieure. Mais cette application de la vapeur ne suffit pas pour un clairçage parfait. Il faut néanmoins claircer à l'intérieur pour terminer. Seulement le clairçage intérieur est beaucoup plus facile. Alors au lieu d'employer de la vapeur comme à l'ordinaire, on a imaginé d'y envoyer un mélange de vapeur et d'air obtenu au moyen d'un injecteur.

L'air ne semble dans ce système destiné uniquement à diviser la vapeur et la rendre moins active, moins brutale pourrions-nous dire dans ses effets. Le fait est que par ce procédé on prétend obtenir un rendement plus élevé de 5 à 6 % à la turbine. On a employé aussi pour

le clairçage l'appareil détendeur appelé *injecteur Kærling*. Cet appareil se compose d'une caisse cylindrique verticale sur laquelle sont montés un souffleur de vapeur d'échappement des machines et un souffleur d'air. Le souffleur peut envoyer, au moyen d'un disperseur, une certaine quantité d'eau en pluie fine destinée à rendre l'air légèrement humide. Le mélange d'air et de vapeur se fait dans la caisse où se dépose l'excès d'eau entraîné, et s'échappe par un tuyau en tôle dans les centrifuges. Cette vapeur humide, et dont l'humidité est d'ailleurs variable, agit un peu à la manière de la clairce. On l'injecte au centre de la turbine.

SIROPS D'ÉGOUT

Pendant le turbinage, la mélasse qui entoure les cristaux s'égoutte du tambour de la turbine dans une nochère qui la conduit dans un bac spécial d'où la reprend une pompe.

Lorsque l'on clairce, le sirop versé dans la turbine commence par chasser devant lui la mélasse restée collée aux cristaux, puis s'écoule lui-même. Enfin on met la vapeur, et celle-ci commence par se condenser à la surface de sucre qu'elle dissout, formant une clairce riche qui chasse la précédente. Si l'on continue l'action de la vapeur c'est une solution de sucre pur qui finit par couler.

On conçoit que la première mélasse qui coule est pauvre, la seconde l'est moins; la troisième commence à être une clairce riche, et les dernières portions que l'on recueille sont très pures.

Envoyer tout cela dans le même bac, comme on le faisait autrefois, est un procédé barbare, car il est évident que les derniers égouts purs seront bien mieux utilisés à être cuits directement qu'à être mélangés à la mélasse qui doit subir un supplément d'épuration.

Aussi a-t-on adopté partout maintenant un système de classement des égouts que l'on a appelés égouts pauvres, égouts moyens et égouts riches, quand on fait la sélection en trois, ou simplement égouts pauvres et égouts riches quand on se contente de deux qualités. Le nombre de qualités d'égouts correspond au degré d'épuration que l'on recherche dans les sucres, et à la manière dont on conduit le travail des usines.

En effet les égouts de turbinage sont devenus un facteur important dans la direction du travail en sucrerie. Autrefois tous les égouts étaient cuits ensemble et formaient le deuxième jet. Aujourd'hui les égouts riches sont rentrés à la cuite au même titre que les sirops d'usine qui sont parfois moins purs qu'eux; les égouts moyens arrivent encore dans la cuite après que l'on a épuisé tous les sirops d'usine, et une partie des

égouts pauvres y rentrent également, le reste formant seul la cuite de second jet. Les méthodes ayant changé, le mode opératoire a changé également.

Mais qu'appelle-t-on égout pauvre, égout riche ;

Pour nous en rendre compte nous avons analysé les égouts de turbinage à différents moments de l'écoulement. Dans un turbinage qui a duré 14 minutes, toutes les deux minutes nous avons prélevé un échantillon d'égout qui a été examiné au laboratoire. Voici les résultats d'une de ces expériences :

	0	1	2	3	4	5	6	7
Pureté	75	72	73,2	81,2	83,2	90,7	92,5	94

On voit que le premier prélèvement, fait au moment de la mise en route est plus riche que le suivant. Ceci provient de ce que le tambour-enveloppe de la turbine est couvert de l'égout riche du turbinage précédent, et qu'il se nettoie au profit de celui qui vient après. Pour la même raison les prélèvements suivants sont moins riches qu'ils ne devraient être en réalité.

La mélasse qui s'écoulait au début avait donc moins de 72 de pureté.

Après le deuxième prélèvement on a mis la clairee, et la pureté est remontée à 83,2. Puis après le quatrième prélèvement on a mis la vapeur, et la pureté est remontée graduellement à 94. C'est à ce moment qu'on a arrêté le clairçage à la vapeur. La turbine a tourné encore quelque peu ne donnant plus assez d'égout pour qu'on puisse en prélever un échantillon analysable, échantillon qui aurait eu assurément plus de 94 de pureté.

On voit donc que si l'on a une cuite avec 92 de pureté, tout ce qui passe après la douzième minute, est plus pur que la cuite elle-même, et constitue un produit extra-riche que l'on a tout avantage à rentrer au pied de cuite. Après la quatrième minute on a des égouts à 80 de pureté et au delà. Ce sont les égouts moyens qui peuvent rentrer au milieu de la cuite.

Les égouts pauvres sont ceux du début, avant clairçage.

Mais si l'on veut par exemple avoir une cuite de deuxième jet, ayant au moins 76 de pureté, on prendra pour égout pauvre tout ce qui passera dans les 6 premières minutes, par exemple, et tout le reste pourra constituer un égout de même richesse que celui du sirop d'usine. On n'aura donc dans ce cas que deux qualités d'égout.

Par conséquent les dénominations que l'on donnera à ces sirops pauvres ou riches dépendront du travail de l'usine et de la direction qu'on lui donne. Mais on ne sera certain de ce que l'on fait qu'après avoir fait

des analyses dans le genre de celles que nous venons de décrire, et que nous recommandons aux fabricants de répéter de temps en temps comme moyen de contrôle du travail du turbinage.

On a imaginé beaucoup de systèmes pour rendre pratique la séparation des égouts.

Quand on veut ne faire que deux qualités c'est assez simple. Il suffit de placer deux nochères côte à côte, ou une seule séparée en deux, ce qui en revient au même, et de faire déverser la turbine dans une goutte mobile (fig. 138) qui se déplace au-dessus de l'une ou de l'autre au moyen d'une tige à deux arrêts placée sous la main de l'ouvrier.

Dans certaines usines on a voulu rendre ce mouvement automatique pour être certain que l'ouvrier ne se trompe pas, et alors on a relié la tige avec le robinet de vapeur; en sorte que lorsqu'on commence le clairçage à la vapeur on commence seulement à recueillir les égouts riches. Nous avons vu que ce moment peut n'être pas suffisant pour les besoins de l'usine, ce n'est donc pas un moyen absolument recommandable. Il est préférable d'avoir un bon chef turbineur et une surveillance active de l'usine et d'exiger que le travail soit bien fait.

Quand on a trois égouts, c'est un peu plus difficile, parce qu'il faut s'assurer que l'égout coule bien dans la nochère correspondante, et la tige doit avoir trois crans d'arrêt.

Nous avons vu beaucoup de dispositions plus ou moins pratiques et ingénieuses pour diriger les égouts au point voulu. Ce sont celles où l'on voit le plus clair qui sont les meilleures. En effet on a la mauvaise habitude de placer les nochères sous le sol, ou dans des positions inabordable. C'est une erreur. Il faut que l'on puisse voir ce qui se passe comme dans tout autre coin de l'usine et entretenir une grande propreté dans cet atelier naturellement sale. Dans les usines qui soignent leur travail, un ouvrier est spécialement affecté à la surveillance du clairçage, et il ne manque pas d'occupation ayant à prélever les échantillons et signaler les défauts du travail.

§ 8. — Distributeurs de masse cuite.

La masse cuite, qu'elle sorte du moulin-diviseur ou des bacs-malaxeurs de la cristallisation en mouvement, doit être chargée dans les turbines sous un volume constant pour être certain d'avoir un chargement convenable.

Autrefois, et cela se fait encore dans quelques usines, la masse divisée était reçue dans des bacs de 25 kilogrammes que l'on versait à la main dans la turbine, travail pénible que l'on a cherché à faire mécaniquement.

C'est ainsi que l'on a imaginé un système de wagonnets suspendus au-dessus des turbines par des rails supportés sur colonnes. Ces wagonnets ont la contenance d'une turbine ou d'une demi-turbine, ont la forme d'entonnoirs et s'ouvrent par le fond au moyen d'une trappe étanche pour se déverser dans chacun des appareils centrifuges.

Une fois vidés on les roule jusqu'au moulin-diviseur où ils s'emplissent de nouveau, etc. Ce système très employé vaut mieux que l'autre, mais demande encore beaucoup de main-d'œuvre.

Alors on a établi au-dessus des turbines et parallèlement à leur axe, une nochère qui court sur tout le front arrière de la batterie, et dans laquelle on reçoit la masse divisée. D'ailleurs un agitateur tient sans cesse en mouvement la masse qui y est contenue.

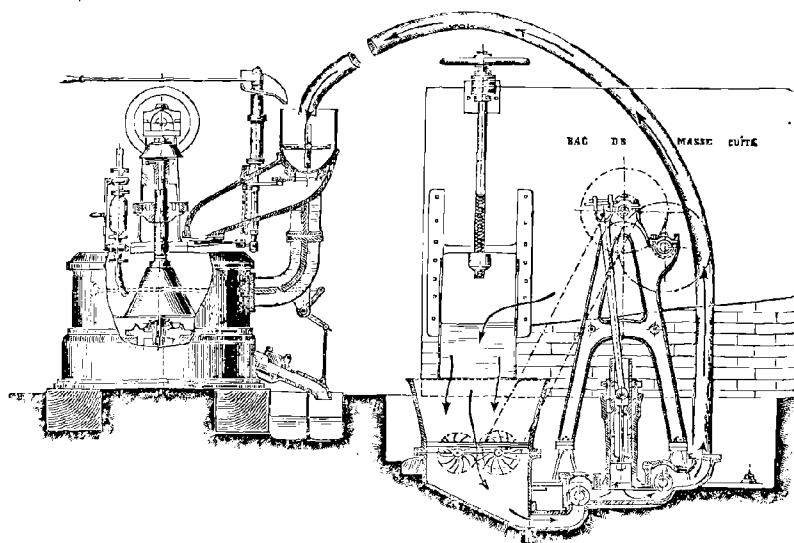


Fig. 158.

En face de chaque turbine, une porte peut s'ouvrir pour laisser couler la quantité de masse nécessaire au chargement.

Pour amener la masse divisée à cette nochère, il y a souvent des difficultés d'orientation et de hauteur entre le moulin-diviseur ou les cristalliseurs en mouvement et la nochère. On se sert alors d'élevateurs divers.

La vis d'archimède est la plus employée. Mais elle a l'inconvénient grave de broyer beaucoup de grains. On se sert aussi de *pompes à masse cuite* qui sont meilleures et fonctionnent bien.

Les *pompes à masse cuite* (fig. 158) sont des pompes puissantes, à

piston plongeur, à mouvement lent de manière à ce que la masse divisée soit animée, dans la large tuyauterie ou sous les clapets en forme de boulets, d'une vitesse très faible, correspondant à l'état de dilution de la masse. Ce sont donc des pompes volumineuses.

Nous avons vu employer aussi des pompes à chaînes munies de tampons glissant dans un tuyau vertical, dans le genre des pompes à eaux si répandues aujourd'hui. Les tampons étaient très espacés et n'avaient pas besoin de faire joint avec le tuyau. Ce système marche très bien également.

Toutes les fois que l'on pourra supprimer un élévateur à vis d'archimède, ou même un simple entraîneur à vis frottant sur les parois, on aura avantage à le faire à cause de la quantité de sucre qu'il détruit. Aussi a-t-on fait des entraîneurs dans lesquels la vis est remplacée par des bras nombreux placés en hélice autour d'un axe, ces bras étant de simples fers ronds. C'est meilleur que la vis pleine, mais on ne peut pas faire d'élévateurs ainsi.

Si nous revenons au distributeur de masse cuite dans les turbines nous remarquerons que par le système de portes que nous avons décrites il est impossible de mesurer la quantité de masse que l'on charge. Aussi a-t-on cherché d'établir à ce point des mesureurs. Voici, comme exemple, l'installation adoptée par A. Denis, de Saint-Quentin.

C'est une boîte en fonte (fig. 158) dont le fond est incliné pour l'écoulement de la masse dans le tambour. Cette boîte est boulonnée sur le malaxeur présentant une ouverture correspondante, et contient un système de deux larges clapets conjugués de telle manière que l'un ne peut s'ouvrir sans que l'autre soit fermé hermétiquement, la tige de chacun d'eux étant reliée au levier de manœuvre qui les rend solidaires. L'un des clapets sert à l'introduction de la masse dans le mesureur, et l'autre à sa décharge dans la turbine. Un trou d'air assure l'emplissage et la vidange faciles. Tout cet ensemble est fort ingénieusement agencé.

Chaque constructeur a d'ailleurs son système dont la description n'apporterait aucune lumière nouvelle au sujet.

§ 2. — Sucre de premier jet.

Le turbinage de la masse cuite donne des sucres dits de premier jet dont la teinte varie avec les besoins commerciaux.

Si l'on veut obtenir des sucres extra-blancs on opère comme nous l'avons dit, avec tous les soins possibles, en ajoutant même du bleu dans la cuite. On obtient ainsi des sables dont chaque cristal est brillant comme un diamant, et polarisant de 99,25 à 99,75.

En France on ne cherche généralement que la qualité dite n° 3 qui est un peu jaunâtre, et qu'on obtient avec un turbinage rapide qui ne dure guère que dix minutes, avec une seule clairce et un peu de vapeur. Ces sucres ne polarisent pas plus de 99, quelquefois moins.

Enfin en certaines circonstances on turbine moins bien encore pour obtenir des sucres roux, ce qui gagne du temps, donne moins de perte de sucre et moins de mélasse. D'ailleurs le grain n'a pas besoin d'être aussi beau ni aussi régulier, autre gain de temps à la cuite. Ces sucres ont des analyses variables comme les suivantes :

Sucre	96,00	à	91,00
Cendres	1,27	à	1,90
Eau	1,50	à	4,50
Inconnu	1,23	à	2,60
	<u>100,00</u>		<u>100,00</u>

§ 10. — Cuite de deuxième jet.

Le sirop d'égout des sucres de premier jet est un liquide de teinte généralement assez claire, jaunâtre, pesant 35° B. environ, dont la composition est fort variable. En voici plusieurs analyses :

Sucre.	50.17	47.70	59.29
Non-sucre	6.63	19.10	7.10
Chaux	0.08	0.08	0.14

En voici d'autres données, par Leluy :

	OISE	AINES	AINES
Sucre.	60.00	56.50	57.00
Eau	18.10	19.00	18.50
Cendres	9.12	9.45	9.28
Matières organiques	12.78	15.05	15.32

Cette mélasse est reçue dans une citerne ; une pompe la renvoie dans des bacs réchauffeurs, puis on la passe sur les filtres. En sortant des filtres, cette mélasse a reçu une certaine épuration du même ordre que celle dont nous avons parlé à propos des sirops et sur laquelle nous ne reviendrons pas. On la reçoit dans les bacs d'attente d'une chaudière à cuire.

1.000 de jus donnent 74 d'égout de premier jet qui contiennent 17 de sucre de deuxième jet, 40 de mélasse de deuxième jet et 17 d'eau à évaporer par la cuite.

La cuite se fait au filet. Leluy décrit ainsi cette opération :

Vérifier l'appareil, faire le vide, aspirer le sirop jusque par-dessus le deuxième serpentín ; la vapeur est lancée alors dans les deux serpentíns du bas et réglée comme pour le premier jet. Pression de la vapeur, 3 atmosphères, vide 19 à 20 pouces.

Abattre la mousse, puis ouvrir la prise de sirop suffisamment pour ne pas faire baisser le manomètre. Quand le troisième serpentín est couvert, on y donne la vapeur.

On arrête l'alimentation dès que le liquide atteint le volume que l'expérience assigne à la capacité utile de la chaudière (en général, bord supérieur de la troisième lunette).

Maintenir la cuite un peu chaude.

Au bout de 1 heure et demie ou 2 heures, le sirop prend à la glace une nuance nouvelle qu'on peut aisément distinguer. Au faux-jour les bouillons ont quelquefois des reflets irisés ou violacés, point de cuite prochain. A la sonde, la cuite, qui doit être aussi serrée que possible, surtout si le sirop est gras, donne sur le pouce un filet qui ne se rompt qu'après un très grand écartement des doigts, se détache bien sans se mouiller ni se dissoudre, bonne cuite.

La cuite est coulée au moyen de nochières dans des bacs assez vastes pour contenir toutes les cuites qui se feront pendant deux mois. Au bout d'un mois, au plus, la cuite est grainée, parfois très dure, parfois aussi pas assez, en sorte que l'on attend davantage, jusqu'à ce que le grainage soit bon.

Dans cet état les cuites de seconds, suivant leur degré de richesse, sont parfois fort difficiles à extraire des bacs à cause de leur consistance. On les porte à la machine à broyer comme les premiers, on les malaxe avec de la mélasse à 30° B ; on les turbine généralement sans les claircer, car on n'arriverait pas à avoir des sucres blancs, et l'on n'obtient que des sucres jaunes plus ou moins clairs, dits sucres de deuxième jet.

Tout ce qui précède se rapporte au travail ordinaire de sucreries, sans procédés spéciaux. Car on arrive parfois à faire des sirops d'égouts de premier jet capables de cuire en grain, comme dans le procédé Ranson par exemple. Mais même sans procédés spéciaux, avec la cristallisation en mouvement et une amorce on fait cristalliser ces égouts en quelques jours au lieu de deux ou trois mois.

Inutile de dire qu'avec des procédés spéciaux cette cristallisation en mouvement est encore plus facile.

Si nous considérons les analyses ci-dessus nous voyons que ces égouts ont de 73 à 90 de pureté. Les égouts à 78 et 79 assurément cristallise-

raient bien en mouvement ; quant aux autres à 88 et 90 ils cristalliseraient même dans la cuite. Comme ces analyses datent de vingt ans, cela prouve le travail irrégulier et parfois défectueux que l'on faisait à cette époque.

Gallois et Dupont nous donnent quelques analyses de masse cuite de deuxième jet.

	1	2	3	4
Sucre	69.90	67.60	70.85	73.20
Non-sucro.	20.31	22.53	17.46	15.55
Eau	9.79	9.87	11.69	11.25
	100.00	100.00	100.00	100.00
Cendres	7.41	8.05	5.85	5.30
Pureté.	77.48	75	80.23	82.48
Coefficient salin.	9.44	8.39	12.11	13.81

Nous voyons dans ce tableau que 3 et 4 cuiraient en grains, tandis que 1 et 2 cristalliseraient facilement en malaxeurs.

Aulard en 1891 a donné l'analyse suivante d'un égout qu'il a passé au malaxage, et qui provenait d'un turbinage en roux.

Sucre.	67,45	Pureté	72,449
Matière organique	17,01	Coefficient salin	7,807
Sels	8,64		
Eau	6,90		
	<u>100,00</u>		

Cet égout malaxé 90 heures est descendu de 90° de température à 50° et a rendu 50 kilogrammes de sucre parfaitement cristallisé, tandis que par le procédé ordinaire des emplis on n'en attendait que 40 à 45 kilogrammes en cristaux confus.

Aulard pense qu'avec des égouts plus riches provenant de turbinage en blanc, il suffirait de malaxer de 24 à 36 heures pour obtenir des rendements équivalents.

Aujourd'hui la cristallisation en mouvement des bas produits est devenue courante, et tout ce que nous avons dit à propos des premiers jets s'applique *a fortiori* et avec beaucoup plus de chances de succès aux seconds.

§ 11. — Cuite de troisième jet.

La masse cuite de deuxième jet est turbinée et donne d'une part un sucre roux polarisant 88 à 95 suivant provenance et mode opératoire.

Voici trois analyses de sucres de deuxièmes jets :

Sucre.	93,00	89,00	94,00
Cendres	1,34	2,60	1,63
Eau	2,76	3,90	2,88
Inconnu (organique)	2,90	4,50	1,49
	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>	<u>100,00</u>

La première est de nous (1870) et provient de la sucrerie de Bresles, la seconde est de Violette et la troisième est d'Aulard ; c'est le sucre sorti des cristallisoirs en mouvement.

Dans le procédé ordinaire de fabrication 40 d'égout de deuxième jet donnent 36,7 de cuite contenant 7 de sucre et 29,7 de mélasse, soit 3,3 d'eau à enlever par la cuite. Cette cuite se fait comme la précédente, coulée et abandonnée six mois, un an, dans des bacs d'empli, ou dans des citernes, dans des chambres chauffées à 40°. Ce chauffage est effectué soit par un calorifère, soit par un jet de vapeur courant dans des tuyaux placés entre les caisses, soit enfin d'une manière plus économique, par une dérivation du canal de fumée des générateurs. Dans ces emplis, le grain se forme à la longue. On turbine lorsque l'usine n'a plus rien à faire.

Dans notre première édition nous ajoutons (1878) :

M. Méhay s'est occupé de trouver un moyen d'activer cette cristallisation. Il y est arrivé par deux procédés. Le premier, devant lequel bien des fabricants reculeront à cause de son prix élevé, est d'ajouter à la cuite 1 % d'alcool, faire le mélange soit dans un malaxeur, soit dans le bac même au moyen d'agitateurs, et fermer le bac aussi hermétiquement que possible. Le second consiste à exercer un mouvage violent sur la cuite au moyen d'une machine dans le bac d'empli, depuis le moment où elle y tombe, jusqu'à ce qu'elle arrive au refroidissement, c'est-à-dire à la température de 30 ou 40° de la chambre des emplis. Le grain se forme dans ce cas très rapidement. Ces procédés peuvent rendre d'utiles services dans certains cas particuliers.

Nous avons tenu à reproduire ce passage qui montre que dès 1878 et peut-être avant, car nous ne nous souvenons plus exactement la date de ces expériences, Méhay avait fait de la cristallisation en mouvement dans les emplis. Il est regrettable qu'il n'ait pas continué dans cette voie. Mais l'heure n'était pas sonnée pour cette transformation du travail des usines.

Nous donnons ci-après un tableau du travail de nos sucreries françaises dressé par Leluy avant 1882, c'est-à-dire au moment où nos betteraves étaient de qualité très inférieure. Nous y avons ajouté le coefficient salin et la pureté.

	SUCRE	EAU	CENDRES	MATIÈRES organiques	COEFFICIENT salin	PURETÉ
Masse cuite 2 ^e jet :						
Oise	66 0	8.0	10.50	15.50	6.28	71.7
Aisne	69.5	7.9	8.02	14.80	8.66	75.1
Aisno	64.9	8.4	10.70	16.00	6.06	70.8
Sirop d'égout 3 ^e jet :						
Oise	55.2	17.5	8.90	18.40	6.21	66.9
Aisno	54.5	18.3	9.60	17.60	5.67	66.7
Aisne	51.6	18.2	11.15	19.05	4.54	63
Masse cuite 3 ^e jet :						
Oise	58 9	9.25	10 40	21.45	5.66	64.9
Aisne	57.3	8.70	9.75	24.25	5.87	62.7
Aisne	55.8	8.10	10.07	26.03	5.54	60.7
Mélasse incristallisable :						
Oise	47.5	18 45	12.32	21.73	3.88	58.2
Aisno	45.1	19.90	12.05	22.95	3.74	56.3
Aisne	42.0	20.50	11 80	25 70	3.56	52.8

D'autre part voici l'analyse de l'égout de deuxième jet donné par Aulard comme sortant des malaxeurs en mouvement dans l'expérience citée plus haut.

Sucre.	59,30	Coefficient salin	5,393
Eau	9,10	Pureté.	65,236
Cendres	10,98		
Matière organique	20,62		
	<u>100,00</u>		

Ces tableaux nous prouvent que certaines usines de l'Aisne épuisaient bien leurs produits car de la mélasse à 52,8 de pureté et 3,56 de coefficient salin est certainement incristallisable. Quant à l'égout des malaxeurs il nous montre qu'à ce moment on était à l'enfance de l'art. Et en effet c'était la première fois que ce travail était introduit en sucrerie belge. Aujourd'hui on sort des malaxeurs de deuxième jet de la mélasse parfaitement incristallisable, permettant de ne plus faire de troisième jet.

§ 12. — Mélasse.

La dernière mélasse est recueillie dans des citernes et vendue à la distillation, ou bien travaillée par l'osmose ou le procédé Steffen.

L'extraction de la mélasse des citernes se fait au moyen de pompes spéciales, et entre autres, d'un appareil fort simple, composé d'une chaîne sans fin qui plonge dans la mélasse et qui passe au-dessus des

bacs sur une poulie que l'on meut à la main. Il est clair qu'en sortant de là elle entraîne dans ses mailles des quantités de mélasse. Un système en râcle alors la surface et fait tomber la mélasse détachée dans une rigole.

NATURE DE LA MÉLASSE

Nous avons vu que le dernier résidu incristallisable de la fabrication est la mélasse. La quantité de mélasse obtenue varie absolument avec la qualité de la racine travaillée et la perfection du travail, enfin avec le mode même de travail, témoin tous les essais que l'on tente pour résoudre le problème du sucre sans mélasse. C'est ainsi que la quantité normale de mélasse produite en fabrication étant de 3 %, elle était en 1871-72 de 3,43 pour une racine mauvaise et en 1825 de 4 %.

La mélasse contiendra, d'après tout ce que nous avons dit jusqu'à présent, la plus grande partie des sels hygroscopiques de la betterave, des matières incristallisables qui naissent dans le travail à la suite de celles qui préexistent dans la racine ; elle contiendra aussi 40 ou 50 % de sucre, de l'eau, le tout dans des proportions variables.

Nous avons donné précédemment quelques analyses de mélasse.

La mélasse de betterave contient très rarement du sucre interverti. Elle pèse généralement 42° Baumé. Ses cendres sont parfaitement connues pour le motif que nous dirons plus loin, son coefficient salin est en moyenne au-dessous de 4, mais sa matière organique est assez difficile à déterminer ; Margueritte y a constaté les substances suivantes :

L'acide métapectique,	la mannite,
parapectique,	l'assamare,
lactique,	la métapectine,
malique,	la parapectine,
valérianique,	l'acide apoglucique,
Diverses matières colorantes.	

C'est-à-dire toutes les substances dont nous avons reconnu l'existence dans la betterave, augmentées de celles qui proviendraient de leurs fermentations et décompositions.

La mélasse, ne donnant plus de sucre au fabricant, est livrée au distillateur. Celui-ci la fait fermenter, en extrait l'alcool, et le résidu liquide de la fermentation évaporé, puis calciné, donne ce que l'on nomme les *salins de mélasse*, dont nous donnons au chapitre *analyses*, de nombreux exemples de compositions.

Ce salin contient toutes les matières minérales qui composaient la

endre de la mélasse, avec cette différence cependant, que les alcalis combinés aux matières organiques, se trouvent transformés en carbonates, et que les carbonates existant préalablement, sont transformés en sulfates par l'addition de 2 % d'acide sulfurique à la mélasse avant la fermentation. Cette industrie qui utilise les derniers résidus de la fabrication du sucre à la confection des alcalis a pris une grande extension, ce qui fait que nous possédons un grand nombre d'analyses.

100 kilogrammes de mélasse donnent environ 10 kilogrammes de salin.

Connaissant la composition de la mélasse, on s'est demandé comment il pouvait se faire que les 50 % de sucre y restassent sans cristalliser.

Plusieurs causes sont en jeu : les sels que contient la mélasse, les matières organiques et l'eau qui réunit en solution tous ces éléments.

Nous avons vu, lorsque nous avons traité de la nature chimique des éléments de la betterave, que presque tous les sels formaient avec le sucre des combinaisons généralement définies. Nous avons montré que la plus grande partie de ces combinaisons étaient capables de cristalliser côte à côte avec le sucre, que lorsqu'il ne se formait pas de combinaison, les sels cristallisaient presque toujours en même temps que le sucre et parfois avant, enfin nous avons vu certains sels et particulièrement le phosphate de soude et les nitrates, puis les carbonates et les sulfates, retenir pour leur dissolution des quantités d'eau assez considérables et, en même temps et près d'eux, du sucre dissout par le fait même de leur hygrométrie. Les sels forment donc de la mélasse, c'est-à-dire empêchent une certaine quantité de sucre de cristalliser.

Que dirons-nous alors des matières organiques qui, incapables de cristalliser, devant rester dissoutes, et généralement elles sont peu solubles, exigent la présence de beaucoup d'eau, et par conséquent, enchainent dans leur masse des quantités de sucre qui se trouveront paralysées dans leur force cristalline par l'inertie de ces matières.

Si l'on considère en effet une mélasse composée de :

Sucre	50
Cendres	10
Substances organiques	18
Eau	22
	100

On remarque que la substance organique est beaucoup plus importante que les cendres, mais aussi que le sucre et les cendres sont en quantité peu variable quant à leur rapport. Comme le sucre et les cendres étaient faciles à déterminer, et que les autres éléments étaient entachés toujours de beaucoup d'incertitude, on en a conclu que c'étaient

les cendres qui retenant cinq fois leur poids de sucre et formaient la mélasse, définition erronée, n'indiquant qu'un rapport assez constant quoique variable, et que l'on a confondu avec la vérité ; en sorte que l'on a pu dire que les mélasses contenant 10 à 14 % de cendres, suivant leur provenance de fabrique et de raffinerie, 1 partie de cendre présente 10 à 7 de mélasse ou bien 5 à 3,5 de sucre cristallisable retenu dans cette mélasse.

Les sels ne forment cependant pas la mélasse par le seul fait de leur présence, les matières organiques de toute espèce entrant pour beaucoup dans cet effet. Les chimistes les plus en renom ont étudié cette grave question. Nous citerons, entre autres, Dubrunfaut et Payen qui étudièrent les premiers ces faits, et qui, du coefficient 5 qu'ils avaient admis pour exprimer l'effet mélassigène des sels, sont redescendus à 3,73. Ces éminents chimistes, recherchant beaucoup plus l'effet que la cause, ont défié les théories les plus recherchées sur la mélassimétrie en restant sur le terrain de la réalité dont la chimie allemande s'écartait à cette époque de plus en plus pour voler dans les nuages de l'imagination. Ils nous apprennent que si tout ce que l'on avance est vrai dans le laboratoire théorique, il peut en être bien autrement dans la pratique de l'usine. Scheibler avait émis l'opinion que « les corps susceptibles de cristalliser ne contribuent pas à la formation des mélasses qu'il faut exclusivement attribuer aux substances incristallisables, et que la cristallisation du sucre n'est pas empêchée par les sels inorganiques des cendres des mélasses, ajoutées même dans des proportions beaucoup plus considérables que celles qui résultent des analyses de mélasse. » D'autre part, Anthon a démontré dans le laboratoire que chaque fois que dans un sirop, le sucre se trouve en quantité supérieure au double du poids de l'eau, il y a cristallisation du sucre, quel que soit le sel minéral qu'on ait ajouté ; s'il y a excès de sel dissout sous l'influence de la température, celui-ci se précipite par le refroidissement ; s'il y a sursaturation de sel et de sucre, les deux substances cristallisent séparément et simultanément ; en effet, nous avons souvent rencontré, entre autres, des sucres contenant du sel marin parfaitement cristallisé.

Quoi qu'il en soit de tous ces faits, les sels n'en restent pas moins dans les liquides sucrés comme *témoins proportionnels* de la quantité de mélasse que ces liquides formeront. Nous devons donc les considérer comme éléments suffisants pour calculer nos rendements, sans nous astreindre à l'idée que les sels sont seuls causes de cette formation.

Nous nous sommes d'ailleurs étendus sur ces faits dans un chapitre précédent, quand nous avons étudié les sels et les matières organiques des jus.

Aujourd'hui, avec les procédés nouveaux, la mélasse a fortement changé de composition. Elle diminue de plus en plus en quantité. On cherche à la faire disparaître, et le desideratum sucre et salins se réalisera quand l'industrie chimique nous donnera à bon marché les produits nécessaires à ce progrès vers lequel doivent tendre tous les efforts.

§ 13. — Rendement.

Le rendement varie avec les années et les méthodes de travail. Voici ce que nous indiquons en 1882, c'est-à-dire avant la loi de 1884 qui a transformé complètement le travail en France.

Nous avons vu que 100 kilogrammes de betterave fournissent 10 kilogrammes de masse cuite de premier jet, abandonnant 50 % de sucre au turbinage, soit 5 kilogrammes de sucre de premier jet. La masse cuite de premier jet abandonne au turbinage la moitié de son poids de mélasse, laquelle fournit 37,5 % de son poids de sucre de deuxième jet, soit 1,5 pour 100 kilogrammes de betterave.

Quant à la mélasse de premier jet elle donne en moyenne 88,5 % de masse cuite de deuxième jet.

Le turbinage des sucres de deuxième jet donne une mélasse en quantité très variable; elle rend environ 19 à 20 % de son poids de sucre, ce qui fait environ un rendement en sucre de troisième jet de 0,5 % du poids de la betterave, total :

5,0 0/0	sucre,	1 ^{er} jet ;
1,5	—	2 ^e jet ;
0,5	—	3 ^e jet ;
7,0	0/0 du poids de la betterave.	

Il reste encore dans la dernière mélasse, ou mélasse proprement dite, 50 % de sucre; or on obtient environ 3 % de mélasse comme terme final de la fabrication, soit donc 1,5 de sucre restant; ce qui porte la betterave à une contenance extractible de 8,50 % en sucre, pour une racine contenant 10 % de sucre réel. La différence 1,50 forme les pertes dues à la fabrication. Or, on adopte en France comme prise en charge 1531 grammes par hectolitre de jus et degré de densité. Une betterave contenant 10 % de sucre marquant 5° 1/2 donnera comme prise en charge exactement 8,50.

Les pertes peuvent s'établir à peu près comme il suit :

Dans les pulpes (20 0/0 contenant 2,50 0/0 de sucre) soit.	0,50
— écumes (10 0/0 — 3,50 —) soit.	0,35
Évaporation, noir, etc. (selon Walkhoff)	0,59
Divers	0,06
Total.	1,50

On voit que tous les nombres fournis ici n'ont rien d'absolu et varieront autant avec la richesse des racines qu'avec les procédés de fabrication et les rigueurs du fisc qui détermine une pression réelle sur les rendements en telle ou telle espèce de sucre de premier, deuxième et troisième jet.

Quoi qu'il en soit voici le résumé de la répartition du sucre dans la fabrication, pour une betterave contenant 10 % de sucre.

Résumé : 100 kilogrammes de betterave fournissent :

Sucre 1 ^{er} jet.	5 ^k ,00	} 7,00
— 2 ^e jet.	1,50	
— 3 ^e jet.	0,00	
— dans la mélasse.	1,50	
Pertes : sucre resté dans la pulpe	0,50	
— — les écumes	0,35	
— perdu dans les filtres, évaporations, etc.	0,59	
— — divers	0,06	
	10 ^k ,00	

Quand on considère ce tableau, que l'on voit tout le travail auquel on se livre pour retirer 0,50 de sucre dans les troisièmes jets et le peu de soin que l'on met à éviter les pertes dans les pulpes ou ailleurs, on voit que d'anomalies restent encore dans la fabrication de certaines usines qui ne savent pas compter. Enfin la mélasse contient encore autant de sucre que les deuxièmes jets ; pourquoi ne cherche-t-on pas à appliquer des procédés permettant de diminuer cette formation de mélasse, en perfectionnant le travail et l'outillage ? Nous reviendrons en temps et lieux sur ces divers points.

Plus tard nous avons établi le rendement en partant toujours d'une betterave hypothétique à 10 % de sucre, et d'après les statistiques officielles de 1892 nous avons trouvé les rendements suivants :

Sucre 1 ^{er} jet	6,70	} 8,68
— 2 ^e jet	1,72	
— 3 ^e jet	0,26	
— dans la mélasse	0,36	
Pertes	0,96	
	10,00	

En comparant ce tableau au précédent, on voit que dans les troisièmes jets et dans la mélasse on perd beaucoup moins de sucre, aussi bien d'ailleurs que dans les résidus, et que tout ce gain passe aux premiers jets, les seconds restant à peu près constants. Nous attribuons cette différence à la meilleure qualité de la betterave qui s'est vite améliorée après la loi de 1884 si bienfaisante à la sucrerie; qui permet un travail plus facile et plus régulier. La diffusion d'ailleurs qui a pris son essor complet à cette époque a puissamment contribué à cette augmentation de rendement.

La betterave à 10 % de sucre n'existant plus heureusement aujourd'hui, il faut rétablir ce tableau proportionnellement à la teneur actuelle, la densité étant en 1891-92 en moyenne de 7,2.

CHAPITRE DEUXIÈME

PROCÉDÉS NOUVEAUX DIVERS

§ 1. — Procédé Steffen-Raeymaeckers.

Nous avons dit que, avant l'invention des turbines, on se servait de bacs à double-fond dans lesquels on déchargeait la cuite ; on clairçait sur ces bacs avec un arrosoir, et obtenait ainsi du sucre blanc. Il est évident que ce clairçage était une cause de refonte de sucre, comme cela se passe dans la turbine, si l'on veut avoir du sucre blanc.

Steffen et Raeymaeckers ont combiné un procédé de clairçage sur caisses permettant de ne pas refondre de sucre, tout en l'obtenant parfaitement blanc.

Leur système consiste à *déplacer* la mélasse qui enrobe les cristaux au moyen d'une mélasse plus riche, puis celle-ci au moyen d'une autre plus riche encore, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on arrive à une clairce parfaitement pure et blanche. Celle-ci est évacuée définitivement par turbinage.

Les caisses dont on se sert pour le déplacement sont des chariots sur quatre roues ayant $2^m,30 \times 1^m,30 \times 0^m,80$. Un double-fond, en toile métallique analogue à celle des paniers de turbine, est distant du fond du bac de quelques centimètres. Ce double-fond porte un robinet sur lequel peut s'adapter un raccord relié à une sucette.

Tous ces chariots contenant ensemble une cuite se disposent en ligne. Dans le plancher sont disposés des raccords correspondant à chaque chariot, et au-dessous de ce plancher se trouve la tuyauterie par laquelle s'écoulent les clairces dans des ballons sur lesquels travaille la sucette.

Au-dessus des chariots une noçhère, séparée en autant de compartiments qu'il y a de chariots, reçoit successivement les clairces, et celles-ci sont déchargées sur tous les chariots à la fois par le jeu de robinets s'ouvrant tous ensemble. De la sorte chacun reçoit en même temps la même quantité de clairce.

Enfin les clairces elles-mêmes sont contenues dans de grands bacs séparés en 40 cellules de 9 à 10 hectolitres chacune. Ces cellules contiennent 40 clairces différentes depuis la plus pauvre jusqu'à la plus

riche. On coule les cellules l'une après l'autre dans la nochière distributrice des clairces, en sorte que les chariots reçoivent successivement 40 clairçages.

Toutes ces clairces recueillies dans les ballons près de la sucette sont ensuite renvoyées par des pompes dans un autre bac à cellule, et leur richesse ayant diminué d'un degré en passant à travers les chariots, elles rétrogradent également d'une cellule dans le bac. Il en résulte que la première clairce est de la mélasse épuisée, et qu'à chaque fois on doit refaire une clairce pure.

Tel est en quelques mots le système dans lequel les questions de température, de mode de cuisson de la masse, et beaucoup d'autres détails jouent un grand rôle qui fait que l'on réussit ou que l'on ne réussit pas le clairçage. Entre des mains expérimentées le procédé Steffen-Raeymaeckers donne de très beaux résultats.

§ 2. — Procédé de cristallisation rapide de E. Dufay.

Voici comment l'inventeur décrit lui-même son procédé. Nous ne saurions l'expliquer d'une façon plus claire.

Ce procédé a pour objet le traitement des égouts de premier jet sans aucune opération mécanique. L'on cuit ces égouts comme d'habitude, ou les coule dans des vases à grande surface de refroidissement pour favoriser la cristallisation rapide de la masse, l'on débarrasse ensuite les cristaux de leur eau-mère par égouttage naturel, et enfin, l'on refond les cristaux dans les vases mêmes et l'on réintègre le produit de cette refonte dans la circulation du jus.

L'on obtient, comme produits définitifs, du sucre blanc et de la mélasse épuisée.

Le principe du procédé est celui de la cristallisation des sels par voie de refroidissement : si l'on verse une eau-mère saturée à chaud dans un vase profond, les premiers cristaux qui se formeront dans la masse tombent au fond du vase, les suivants viendront les recouvrir et ainsi de suite, les cristaux se superposant les uns aux autres jusqu'à ce que la masse arrive à un état d'équilibre tel que, dans aucune de ses parties, l'eau-mère ne puisse plus nourrir les cristaux qu'elle baigne.

A ce moment si l'on examine l'état de la masse cristallisée, l'on reconnaîtra que l'eau-mère occupant la partie inférieure du vase sera la plus épuisée, ayant eu à nourrir le plus grand nombre de cristaux; tandis que, au fur et à mesure qu'on remontera, l'épuisement de l'eau-mère sera de moins en moins grand, jusqu'à ce qu'on arrive à l'eau-mère surnageante, qui présentera le minimum d'épuisement.

Si, dans ces conditions, l'on ouvre le vase à la partie inférieure, pour permettre l'écoulement de l'eau-mère en retenant les cristaux sur un tissu filtrant approprié, cette eau-mère traversera une couche de cristaux d'autant plus épaisse qu'elle sera située plus près de la partie supérieure du vase, et, par conséquent, qu'elle sera plus riche. Elle aura donc à nourrir, en s'appauvrissant, un nombre d'autant plus grand de cristaux. De telle sorte qu'on peut estimer que l'eau-mère provenant de toutes les couches de la masse cristallisée, sera arrivée au même degré d'épuisement, au moment où elle s'écoulera hors du vase.

Or une masse sucrée, cuite au filet, peut être assimilée à une eau-mère saturée de sucre à chaud; ce qu'on vient de dire lui est donc applicable.

Le problème à résoudre consiste donc à déterminer quelle épaisseur de cristaux de sucre devra traverser l'eau-mère surnageante pour arriver au bas du vase à l'état d'eau-mère épuisée ou mélasse.

Ce résultat est obtenu, d'une manière satisfaisante, dans un vase à section trapézoïdale de 1^m,50 de hauteur, 0^m,45 de largeur au sommet et 0^m,12 à la base, et d'une longueur indéterminée.

Il va de soi que ces dimensions, qui ont paru favorables, ne sont pas de rigueur.

Ceci posé, le vase à cristallisation rapide adopté a un faux-fond filtrant en tissu métallique approprié. Le fond est muni d'ouvertures longitudinales étroites fermées par des obturateurs. A chacune des extrémités du canal, formé par le faux-fond et le fond, est adapté un robinet qui communique avec un ensemble de tuyaux destinés à l'arrivée du liquide dissolvant des cristaux et à l'enlèvement de la masse dissoute. Un trop-plein existe à la partie supérieure du vase.

La mélasse étant évacuée par les orifices inférieurs dont les obturateurs sont enlevés, lesdits orifices sont rebouchés. L'on fait alors arriver par l'un des robinets du jus prélevé dans le réservoir qui alimente l'appareil à évaporer. Ce jus traverse toute la masse cristallisée et purgée, de bas en haut, sort par le trop-plein, est recueilli dans une conduite qui le déverse dans un réservoir où une pompe le renvoie d'où il vient, c'est-à-dire dans la circulation des jus avant l'évaporation. La refonte terminée, le vase est vidé par l'ouverture du robinet placé à l'autre extrémité inférieure.

Les vases à cristallisation rapide sont réunis en batterie de six vases. Dans chaque batterie s'opère toute l'évolution du travail, en une période de six jours.

Le premier jour, l'on remplit de masse cuite le vase numéro 1 de chaque batterie; le deuxième jour l'on remplit de masse cuite le vase

numéro 2 de chaque batterie ; le troisième jour, l'on remplit de masse cuite le vase numéro 3 de chaque batterie, et l'on met en purge le vase numéro 1 ; le quatrième jour, l'on remplit le numéro 4 et l'on purge le numéro 2 ; le cinquième jour l'on remplit le numéro 5 et l'on purge le numéro 3 ; le sixième jour l'on remplit le numéro 6 et l'on purge le numéro 4, puis l'on refond le numéro 1. Puis on le remplit, et ainsi de suite.

Voici la moyenne des analyses des produits traités pendant la campagne :

COMPOSITION MOYENNE DE LA MASSE CUITE DE 2^o JET
COULÉE DANS LES VASES.

Sucre	65,50
Cendres	7,34
Eau	11,42
Coefficient salin	8,96
Quotient de pureté	73,94

Mélasses provenant de l'égouttage.

Sucre	49,50
Cendres	11,05
Eau	16,00
Coefficient salin	4,51
Quotient de pureté	58,92
Degré Baumé	44,00

Masse refondue dans les vases.

Sucre	74,20
Cendres	5,50
Eau	11,00
Coefficient salin	13,10
Quotient de pureté	83,37

De ces chiffres, l'on peut tirer les conclusions suivantes :

1^o Que l'égouttage ayant un coefficient salin de 4,51 est une mélasse bien épuisée. (A notre avis ce n'est pas suffisant.)

2^o Qu'en réintégrant dans les sirops verts, à quotient de pureté moyenne de 90, une refonte de 84 de pureté dans la proportion de un tiers, l'on doit obtenir une masse cuite ayant un quotient de pureté de $\frac{90 + 90 + 84}{3} = 88$ et, par conséquent, remplissant les conditions

requis pour obtenir un rendement élevé et du sucre blanc et beau.

3^o Qu'il n'y a aucun motif d'être amené, par ce travail, à faire des liquidations périodiques, ces liquidations se faisant d'une manière interrompue par le fait de l'égouttage, dont le produit est la mélasse.

4° Enfin, que le troisième jour, après la mise en fonctionnement, l'on obtient de la mélasse épuisée, et que cinq jours après la dernière cuite, l'on a obtenu tout le sucre et toute la mélasse.

La campagne est entièrement liquidée.

§ 3. — Procédé « Simplex ».

Ce procédé mis en avant par la maison Maguin de La Fère, ne présente rien de nouveau dans le sens propre du mot. Mais c'est le résultat d'une étude longue et consciencieuse de tous les procédés connus, et la réunion en un seul faisceau de ce que l'inventeur a cru trouver de meilleur dans tous ces procédés. C'est un assemblage nouveau de faits connus, pour employer les termes de la loi des brevets.

Le procédé « Simplex » a pour but l'extraction du sucre de deuxième jet donnant comme résidu de la mélasse épuisée. Il ne prétend pas faire sucre premier jet et mélasse.

Pour faire cristalliser les deuxième jets il emploie l'*amorçage*, et c'est de ce côté qu'ont porté les études très complètes de l'inventeur. Car l'amorçage avec du sucre a de gros inconvénients et coûte cher. En effet pour qu'une amorce agisse efficacement il faut qu'elle soit en cristaux réguliers et bien formés; qu'elle soit répartie uniformément dans toute la masse cristallisable; qu'elle soit à la même température que la masse.

Or le sucre que l'on jette dans la masse de deuxième jet a déjà été déformé par le turbinage, ne se répartit que difficilement, restant parfois aggloméré longtemps en grumeaux avant de se répartir, d'où perte de temps et d'effet utile, enfin refroidit la masse.

De plus ce sucre a déjà subi beaucoup de main-d'œuvre, coûte donc cher, et demande encore de la main-d'œuvre pour être réparti dans la cuite comme amorce.

L'amorce qui répondrait le mieux aux besoins, serait assurément du sucre délayé d'avance dans une eau-mère ayant la même composition que l'égout à cuire, qui n'est en réalité que l'égout de turbinage de premier jet. Or du sucre de premier jet délayé dans l'égout de premier jet, n'est autre que de la masse cuite de premier jet terminée.

C'est donc une portion de masse cuite premier jet terminée que l'inventeur emploie comme amorce. De la sorte le mélange est tout fait, les cristaux du sucre sont intacts, et la température de cette amorce peut être sensiblement la même que celle de la masse cuite deuxième jet que l'on veut amorcer. Enfin ce sucre n'a supporté encore aucune

main-d'œuvre et se trouve donc dans les meilleures conditions économiques.

Ceci posé voici comment est installé le procédé « Simplex » :

La chaudière à cuire le premier jet étant à côté de la cuite de deuxième jet, on les relie ensemble par un gros tuyau muni d'une soupape d'isolement sous la main du cuiseur.

On fait la cuite premier jet comme à l'ordinaire, avec rentrées d'égout riche, et, à la fin, quand le sirop qui enrobe les cristaux est bien épuisé, on fait rentrer assez de mélasse pour obtenir une eau-mère de pureté suffisamment basse, et l'on serre.

On casse le vide pour couler ; mais, avant cette opération, on prélève l'amorce dans la cuite de second jet.

A cet effet, la chaudière de deuxième étant vide de sirop, on met sa pompe à air en route, et l'on ouvre la soupape d'isolement du gros tuyau d'amorçage, pour faire passer une certaine quantité de masse de premier dans la chaudière de second, puis l'on ferme la soupape, et l'on commence immédiatement la cuite de seconds.

Cette cuite de seconds se conduit comme à l'ordinaire en présence de l'amorce, et on y pousse l'épuisement d'égout aussi loin que le permet la durée de la cuite.

A la fin de la cuite, après serrage, on y introduit de la mélasse épuisée comme claire, et de façon à ce que l'égout chaud de la masse cuite au coulage ne dépasse pas une pureté de 65.

On coule dans des malaxeurs à double enveloppe ou Ragot.

Le refroidissement se fera naturellement pendant les 12 premières heures, et avec circulation d'eau pendant les 12 heures suivantes, et le plus rapidement possible, avec de l'eau en plein pendant 12 heures encore, puis on turbine.

100 hectolitres de masse cuite de 2^e jet se composeront de :

18	à	22	hectolitres de masse-cuite-amorce.
74	à	66	— d'égout de 1 ^{er} jet.
8	à	12	— de mélasse épuisée.
100		100	

Si une cuite dure 20 heures, le malaxage 36 heures, le turbinage 10 heures, au bout de 66 heures on aura donc le sucre de deuxième jet et de la mélasse à vendre.

Si la betterave fournit 2,80 litres de masse cuite par 100 kilogrammes pour un travail de 300.000 kilogrammes il faudra 3 malaxeurs de 100 hectolitres.

Les seconds jets seront refondus et renvoyés dans le travail.

Ci-après les résultats obtenus avec le procédé « Simplex » d'après les données de la maison Maguin.

RÉSULTATS OBTENUS

	Pureté	Température.
Masse-cuite d'amorçage.	82,55	
Eau-mère de cette masse-cuite	66,35	
Egout pauvre de turbinage à cuire	66,60	
Masse-cuite 2 ^e jet après amorçage	71,60	
— — coulage	68,57	
Egout chaud de cette masse-cuite.	64,65	90
Même égout après six heures.	63,05	80
— douze heures	60,95	70
— dix-huit heures	58,90	60
— vingt-quatre heures	58,10	50
— trente heures	57,34	42
— trente-six heures	56,84	36
— turbinage	57,25	

LIVRE DIXIÈME

EXTRACTION DU SUCRE DES MÉLASSES

§ 1. — Généralités

Nous avons vu que la quantité du sucre qui reste dans la mélasse est, par rapport à celle que contient la betterave, plus considérable que ce que l'on extrait des troisièmes jets.

Extraire tout ou partie du sucre des mélasses est donc un projet digne d'intérêt. Nous savons bien que les lois fiscales, le prix de la mélasse en certaines années, et d'autres causes encore, arrêtent le progrès de ce côté. Mais comme toutes ces causes ne sont pas immuables, étant donné que la mélasse existe contenant du sucre, il est intéressant de se demander quels moyens employer pour l'extraire ?

On a donc cherché des procédés efficaces pour arriver à l'extraction du sucre des mélasses. Les uns se sont basés sur une élimination des matières *non sucre*, par des moyens divers, après quoi le liquide concentré abandonne de nouveau le sucre ; tels sont les procédés de l'osmose et aussi le procédé à l'alcool de Margueritte.

Les autres ont cherché à engager le sucre de la mélasse dans des combinaisons insolubles que l'on lave et débarrasse de toute impureté, et à traiter ce sucrate de telle sorte que le sucre soit mis en liberté. Tel est le procédé d'éluion de Scheibler, le procédé Manoury, celui à la baryte imaginé par Dubrunfaut et repris par Nugues, les procédés à la strontiane, et d'autres dont nous dirons quelques mots.

Tous ces procédés ont été plus ou moins employés. L'osmose, par exemple, après avoir eu un brillant essor a presque disparu sous les coups inconsidérés des législateurs.

Nous allons néanmoins les passer en revue, car nul ne sait l'avenir. Ils ont tous donné des résultats ; les uns subsistent, d'autres sont tombés dans l'oubli d'où ils sortiront peut-être. C'est toujours pour le fabricant-chimiste un bon enseignement de savoir ce qui s'est fait autrefois et de le comparer avec le travail d'aujourd'hui.

§ 2. — Osmose

On sait que lorsque deux liquides de composition différente sont séparés par une membrane poreuse, il s'établit deux courants de l'un à l'autre liquide à travers la membrane et en sens inverse, de telle sorte que les deux liquides échangent leurs éléments. Cet échange se fait selon des lois constatées successivement par Dutrochet, Dubrunfaut et Graham. Le fait le plus net qui ressort de ces observations est que certaines matières dissoutes dans l'eau passent facilement à travers les membranes. Ces matières sont en général aptes à cristalliser, on les a nommées *crystalloïdes*. D'autres passent peu ou point à travers le *septum*; elles ont une structure analogue à la colle forte, on les a nommées *colloïdes*; l'albumine est du nombre.

Parmi les *crystalloïdes*, les uns passent lentement à travers les membranes, le sel marin, par exemple, et le sucre; d'autres passent fort vite, le carbonate de potasse en première ligne, puis le phosphate de soude, etc. Les sels à base organique sont également très vivement éliminés par la surface osmotique. Si donc, on met en contact d'une membrane un jus sucré, une mélasse étendue par exemple, qui la sépare d'une masse d'eau, les sels et le sucre traversent cette membrane, mais en quantités telles qu'une mélasse ainsi traitée est parfaitement propre à donner des cristaux de sucre par cuisson, tandis qu'avant le traitement elle n'en abandonnait plus.

Voici, en effet, comment ceci peut s'expliquer: les eaux d'exosmose, c'est-à-dire celles qui s'enrichissent en sels aux dépens de la mélasse, entraînent 4 de sels pour 3 de sucre. Or, si l'on admet que 1 de sel cause la non-cristallisation de 3,5 de sucre, quoique la mélasse osmosée ait perdu 3 de sucre, cependant elle laissera cristalliser $3,5 \times 4 = 14$ de sucre retenus primitivement par les sels que l'osmose a éliminés, et cette mélasse qui n'était plus bonne pour le fabricant redevient pour lui aussi productive après osmose qu'un sirop de troisième jet et même de deuxième jet.

En acidulant par l'acide chlorhydrique une mélasse, on rend l'action osmotique beaucoup plus profonde. Feltz a en effet expérimenté que l'osmose enlevait 29,23 % des matières minérales d'une mélasse acide, tandis qu'elle n'enlevait que 25,36 de la même mélasse non acidulée.

C'est sur ces principes que Dubrunfaut s'est appuyé pour l'emploi de l'osmose dans l'extraction du sucre des mélasses.

L'osmose est donc un mode d'épuration des jus sucrés tout aussi bon

que la filtration sur le noir, et plus efficace, épuration qui entraîne comme tous les procédés des pertes de sucre, avec cette différence que les eaux d'exosmose ne sont pas perdues et peuvent être traitées par la distillerie comme la mélasse, et ensuite par le fabricant de potasse comme salin.

Dubrunfaut, en proposant son osmogène, prenait les choses de plus haut. Le plus grand impédiment, dans la fabrication, ce sont les matières étrangères au sucre qui entravent la cuite, matières qui se concentrent dans les mélasses. Si l'on osmose ces mélasses, on va les étendre d'une quantité d'eau considérable; il faudra faire de nouvelles évaporations, filtrations, cuites, tout travail fort cher. Pourquoi ne pas osmoser directement les sirops où même les jus chaulés? On éliminerait de suite et avec beaucoup plus de profit les sels minéraux et organiques, la cuite se ferait bien et donnerait des premiers magnifiques, le turbinage serait facile, et finalement on ferait fort peu de mélasse.

Ce travail d'osmose des jus chaulés, dit osmose calcique, se ferait à froid; le sucrate de chaux ne traversant pas facilement le papier parchemin, on n'éliminerait que des sels et les alcalis mis en liberté par la chaux. Les jus osmosés, puis carbonatés, suivraient le cours de fabrication ordinaire; seulement l'effet utile des osmogènes serait réduit de 3 à 1, ce qui nécessiterait de tripler la force des osmogènes en augmentant le nombre des cadres. Dans ce cas, on pourrait opérer à eaux perdues pour n'avoir pas d'énormes concentrations à faire. Malheureusement les procédés qui ne produisent pas un résultat se chiffrant par des bénéfices immédiats sont rarement acceptés, et même l'osmose de la mélasse, que les fabriques allemandes surtout ont appliquée sur une vaste échelle, n'était, il y a peu d'années, que rarement employée par quelques industriels intelligents.

Passons en revue les résultats de l'osmose. Voici un essai théorique fait sur une masse cuite de deuxième jet, dissoute de manière à former un sirop concentré. 100 grammes de masse cuite ont été osmosés de manière à rabattre la densité à 23°,5 Baumé, et ont donné les résultats suivants :

	AVANT L'OSMOSE	APRÈS L'OSMOSE	EAUX D'EXOSMOSE
Sucro	65.000	61.796	3.204
Cendres	9.810	6.534	3.276
Coefficient salin	6.62	9.50	1.00

On a donc éliminé ainsi 1/3 des sels et 1/20 de sucre. Si 1 de sels correspond à l'immobilisation de 3,5 de sucre, on voit que ces 3,276 de sels

rendront la liberté à 11,5 environ de sucre, qui eussent été immobilisés dans la mélasse.

Si l'on poussait plus loin l'osmose en abaissant à 14° la densité du liquide, la masse cuite deviendrait :

	AVANT L'OSMOSE	APRÈS L'OSMOSE	EAUX D'EXOSMOSE
Sucre	65.000	56.892	8.108
Cendres	9.810	2.876	6.934
Coefficient salin	6.62	19.77	1.17

L'eau d'exosmose contient donc 1/8 du sucre total et 2/3 de sels qui rendront la liberté à 24 environ de sucre, au lieu de 11,5, ou le double de ce que l'on avait obtenu dans l'expérience précédente. On voit donc quel intérêt il y a à pousser aussi loin que possible l'osmose, d'autant plus que les eaux d'exosmose concentrées donnent une mélasse fermentescible très riche en salins, et se prêtant à toutes les mêmes opérations industrielles que la mélasse ordinaire.

Un autre exemple sur une mélasse :

Soit une mélasse à 45° Baumé au titre de 49 % de sucre et 14 % de cendres, c'est-à-dire au coefficient 3,5. L'épuration osmotique, faite de 20 à 23° Baumé, pourra éliminer environ 4 de sels et 3 de sucre dans les eaux d'exosmose. Dans cette hypothèse, la mélasse qui contenait 49 de sucre et 14 de cendres,

aura perdu . . . $\frac{3}{46}$ — $\frac{4}{10}$ —

Il restera donc. $\frac{3}{46}$ — $\frac{4}{10}$ —

Ce sirop, ramené par la cuite à la constitution de la mélasse normale, pourra fournir, après plusieurs mois de citerne, les résultats suivants :

10 de sels immobilisant 35 de sucre, on pourra extraire de cette mélasse $43 - 35 = 8$ % de sucre.

Si, au lieu d'osmoser à 20°, on pousse jusqu'à 12 ou 13° Baumé, la quantité de sels éliminés peut atteindre 50 %, soit 7 de cendres ; 7 de sucre sortiront aussi dans les eaux d'exosmose, car, dans le cas de fortes osmoses, le coefficient du sucre au sel de 0,75 passe à 1, de sorte qu'il restera dans la mélasse :

$$49 - 7 = 42 \text{ de sucre} \quad 14 - 7 = 7 \text{ de sels.}$$

Traitant ce sirop comme plus haut, on en retirera :

$$42 - (7 \times 3,5) = 17,5 \text{ de sucre récupéré,}$$

plus du double de l'opération précédente.

Nous pourrions encore citer l'expérience suivante de Walkhoff parmi beaucoup d'autres, qui n'ajouteraient rien de plus à ce que nous avons dit :

	AVANT L'OSMOSE	APRÈS L'OSMOSE
Sucro	43.500	25.250
Sels de potasse et de soude.	9.611	4.720
Sels de chaux	0.811	0.480
Substances organiques.	18.941	10.646
Eau.	27.137	58.904
	100.000	100.000

Selon les observations de Walkhoff, la quantité de sels minéraux et organiques qui se dissolvent dans les eaux d'exosmose est 2,5 fois plus considérable que celle du sucre. Donc sur une mélasse dont l'osmose extrait les 5/6 des matières non-sucre cristalloïdes, on aurait :

	AVANT L'OSMOSE	APRÈS L'OSMOSE	EAUX D'EXOSMOSE
Sucro	50.0	43.2	6.8
Cendres	20.0	3.0	17.0
Coefficient salin	2.5	11.4	0.4

On pourra donc extraire ainsi 25 environ, soit moitié du sucre contenu dans la mélasse, ce qui est le rendement admis dans l'osmose.

Nous ajouterons que la température agit considérablement sur l'osmose; plus les liquides sont chauds, plus rapide est le travail, aussi fait-on l'osmose sur des liquides bouillants. Cette température a de plus l'avantage essentiel d'éviter les fermentations dans les liquides osmosés.

Au lieu d'osmoser la mélasse, on osmose parfois les égouts des sucres de premier jet, et l'on a une cuite qui donne des sucres presque aussi beaux que des premiers jets. Leur mélasse peut être osmosée à son tour, et ainsi de suite jusqu'à six fois, et l'on obtient à chaque fois du sucre cristallisable. Le quatrième jet ressemble alors à du second ordinaire. C'est ainsi que MM. Camichel et C^{ie}, en osmosant à 20 et 22°, ont eu les rendements suivants :

Troisième jet	30 à 35 0/0 du poids en sucre.
Quatrième jet	25 à 30
Cinquième jet	13 à 20

qui revenaient sensiblement à 1 franc par 100 kilogrammes de sirop mis en œuvre, y compris la concentration à 40° Baumé (bouillant) des eaux pour obtenir les salins cristallisés, dont le volume est de 10 % de la matière osmosée. Les eaux d'exosmose contiennent environ 0,75 de sucre pour 1 de sels; ceux-ci sont :

Nitrate de potasse environ.	45 0/0
— soude	15
Chlorures (notamment de potassium).	40
	100

Au sortir de l'osmogène, l'eau d'exosmose pèse 1 ou 2° Baumé lorsqu'on opère à eaux perdues, et 3 ou 4 et même 5° dans l'autre cas.

Le prix de revient du sucre extrait de la mélasse par l'osmose est facile à établir. Voici le compte donné sur ce chapitre par Leluy.

Soit une fabrique fournissant 400,000 kilogrammes de mélasse, contenant 200,000 kilogrammes de sucre, dont on peut extraire la moitié ou 100,000 kilogrammes par osmose.

Mais pour nous tenir au-dessous de la vérité, nous ne calculerons que sur 40 %, soit 80,000 kilogrammes de sucre, ou 800 sacs à 60 francs.....	48,000 francs
fournissant 240,000 kilogrammes de mélasse résidu à 12 francs.....	28,800 —
Total.....	76,800

A déduire :

Frais d'osmose à 1 fr. 50 c. les 100 kilogrammes	6,000 francs.
Prix de la mélasse à 12 francs les 100 kilogrammes, pour 400,000 kilogrammes.....	48,000 —
	54,000

Bénéfice net 76,800 — 54,000 = 22,800 francs.

Soit 5 fr. 70 c. par 100 kilogrammes de mélasse travaillés.

Nous ne terminerons pas cette étude de l'osmose sans dire quelques mots du procédé que Dubrunfaut avait inauguré à la fin de la campagne de 1880-81 pour supprimer la formation des mélasses. Ce procédé consiste à chauler les égouts de premier jet, les laisser reposer trois ou quatre jours, décanter la partie claire, la soumettre bouillante à l'osmose, puis carbonater ces sirops calciques osmosés, soit en les mélangeant dans le jus chaulé à la première carbonatation, soit en les traitant directement.

La chaux doit être ajoutée au sirop ramené à 25° en quantité telle que le sucre soit transformé en sucrate monobasique, et que les sels végé-

taux alcalins soient saturés, la potasse étant mise en liberté. La densité du sirop est élevée de ce chef à 28 ou 29°, et il se forme un dépôt dans le bac. Ces sirops sont ramenés par l'osmose calcique à 12 ou 14° B, avec élimination des alcalis mis en liberté par la chaux et des sels minéraux. Une certaine quantité de sucre est également entraînée dans les eaux d'exosmose qui ont un coefficient salin de 1 à 1,50. La carbonatation est poussée à froid au point où se formerait l'hydrosucro-carbonate. A ce moment on chauffe, la combinaison se détruit, le carbonate de chaux se précipite. C'est le moment où la dépuration calcocarbonique jouit de son plus grand effet. Par cette opération les sels organiques de chaux sont précipités.

On voit donc que l'on a transformé d'abord les sels organiques alcalins en sels de chaux, puis que l'on a éliminé par l'osmose la potasse mise en liberté ainsi que divers sels minéraux, et enfin éliminé par la carbonatation les acides organiques transformés en sels de chaux. On a donc par ce travail méthodique rendu les égouts de premier jet aussi purs que possible, aussi cristallisent-ils parfaitement dans la chaudière à cuire.

Les eaux d'exosmose sont concentrées. Elles abandonnent à la cristallisation une abondante quantité de sels, et laissent une mélasse parfaitement vendable.

Osmogène (description de l'appareil). Dutrochet, qui fit les premières expériences sur les phénomènes osmotiques, se servait d'un appareil appelé *endosmomètre*, composé de deux réservoirs ayant une paroi commune. Cette paroi était faite avec la membrane ou *septum* dont on voulait essayer la puissance d'endosmose. Dubrunfaut, dans son osmogène, se sert également de deux chambres séparées par une membrane, et il a adopté pour cet usage le *papier parchemin*. L'une des chambres contient de l'eau, l'autre la mélasse ou le liquide sucré à osmoser.

Pour rendre la construction d'un tel appareil industrielle, il fallait réunir plusieurs conditions ; comme l'osmose se fait au contact de la paroi, il était inutile de donner une grande épaisseur aux couches liquides. Il fallait également que la paroi fût assez étendue pour obtenir une rapidité suffisante à un travail d'usine, enfin favoriser le renouvellement facile des couches à la surface de la paroi organique. Dubrunfaut est arrivé à ces résultats de la manière la plus heureuse dans l'agencement général de son osmogène dont nous donnons la description telle que V. de Luynes l'a faite à la Société d'encouragement (juin 1869) : « Chaque réservoir (ou chambre de l'osmogène) est constitué par un cadre en bois (fig. 161) de 1 mètre de largeur sur 0,66 de hauteur et 0,20 d'épaisseur.

Quatre barrettes transversales en bois divisent l'intérieur du cadre en cinq compartiments qui communiquent entre eux au moyen d'ouvertures *f* pratiquées dans chaque traverse, de manière à établir une circulation.

« Sur chaque face du cadre sont fixées des feuilles de papier-parchemin soutenues par des cordes minces.

« En faisant entrer la mélasse par la partie inférieure, elle monte en serpentant dans les cinq compartiments du cadre et sort par la partie supérieure. Un second cadre, exactement disposé comme le précédent,

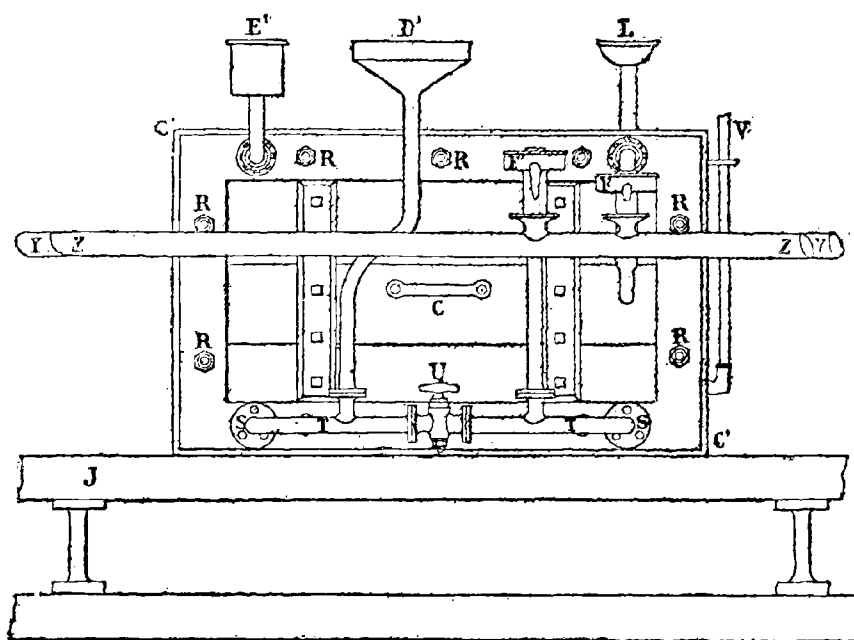


Fig. 159

mais rempli d'eau, est juxtaposé au premier, de manière que la même feuille de papier parchemin serve de séparation aux deux cadres et, par conséquent, aux deux liquides. Ce système constitue ce que l'on pourrait appeler un élément ou couple de l'osmogène ; mais comme sa surface active ne permettrait pas de traiter de grandes quantités de mélasses, Dubrunfaut réunit les uns à côté des autres un grand nombre de doubles cadres (25 pour l'eau et 25 pour la mélasse) qui fonctionnent simultanément, et qui, par conséquent, donnent un rendement proportionnel au nombre de cadres employés ; c'est l'ensemble de tous ces cadres qui constitue l'osmogène.

« La seule condition à remplir pour que l'appareil marche avec succès, c'est que tous les cadres à mélasse et tous les cadres à eau puissent se remplir et se vider simultanément, comme si l'on n'opérait que sur un seul couple.

« A cet effet, chaque cadre porte deux ouvertures, *c*, *d'*, à la partie supérieure et deux *c'*, *d*, à la partie inférieure. Dans les cadres à mélasse, l'ouverture inférieure de droite, par exemple, communique, par un petit canal *e'* pratiqué dans l'épaisseur du cadre, avec le premier compartiment ; et le dernier compartiment est mis en rapport par un petit canal

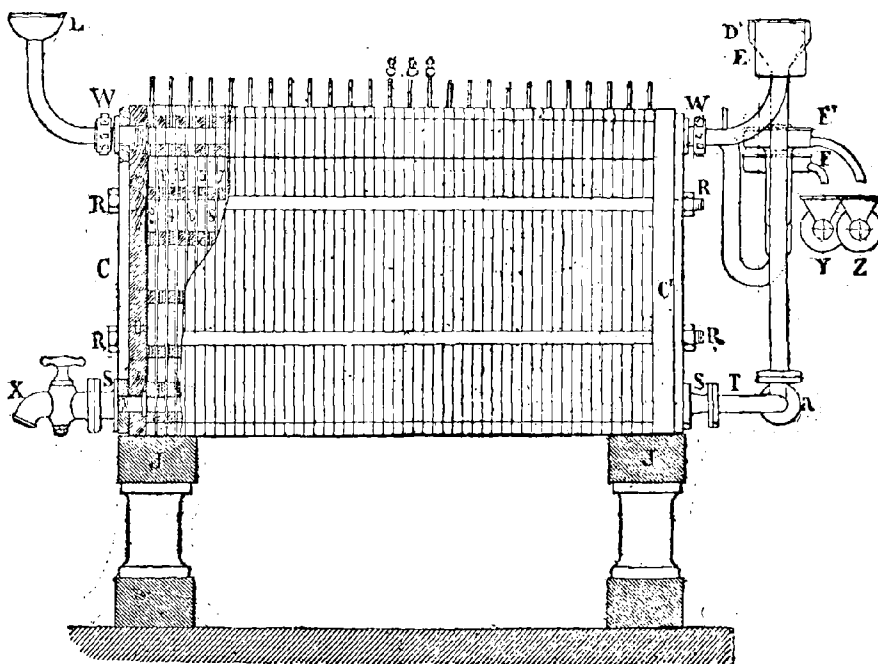


Fig. 160.

semblable, *e*, avec l'ouverture supérieure de gauche, les deux autres ouvertures restant complètement isolées de l'intérieur du cadre. Dans les cadres à eau, on rencontre la même disposition, avec cette différence que c'est l'ouverture inférieure de gauche qui est percée, et que c'est l'ouverture de droite qui est en rapport avec le dernier compartiment.

« Dans la réunion de tous les cadres qui composent l'osmogène, les ouvertures supérieures et inférieures forment par leur juxtaposition des canaux ou tubes horizontaux ; dans le tube inférieur de droite se trouvent toutes les ouvertures correspondant avec les cadres à mélasse, de sorte qu'en faisant arriver la mélasse par ce canal, tous les cadres à

mélasse se remplissent simultanément. Ils se vident de même par le canal supérieur de gauche, où viennent aboutir les ouvertures de tous les compartiments inférieurs. La même disposition s'applique aux cadres à eau.

« On arrive donc ainsi à produire un écoulement continu de mélasse et d'eau dans l'osmogène, les deux liquides étant toujours séparés pendant leur parcours par la membrane de papier-parchemin.

« Voici maintenant les détails relatifs à la mise en marche et à la conduite générale de l'appareil.

« *Mise en train et manœuvre de l'osmogène.* — On commence par placer entre chaque couple de cadres composant l'appareil une feuille de papier-parchemin, préalablement percée de trous semblables à ceux *b c c' d d'* qui existent dans les cadres (fig. 161). Les boulons qui réu-

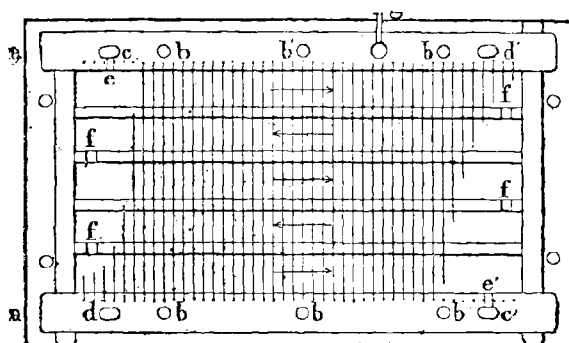


Fig. 161.

nissent les cadres étant ensuite serrés, on ferme le robinet U (fig. 159) et l'on introduit l'eau dans l'entonnoir E', et en même temps le sirop dans l'entonnoir D' (fig. 159 et 160), en observant, à l'aide des tubes à niveau V, si les deux liquides montent bien à la même hauteur. Lorsque l'appareil est plein, l'eau d'exosmose doit déborder par l'éprouvette F' et le sirop osmosé par l'éprouvette F; dans chacune de ces éprouvettes est placé un aréomètre qui doit y rester en permanence. C'est au moyen de cet instrument qu'on juge si l'on doit diminuer ou augmenter l'introduction du sirop. Il en est de même pour l'eau; mais comme celle-ci n'accuse que peu de densité à l'aréomètre, on en règle l'introduction plus facilement d'après son écoulement, qui doit être au moins double du volume du sirop osmosé.

« Quant au degré auquel on doit faire descendre le sirop par l'osmose, il dépend de la nature même du liquide sucré et du degré d'épuration

qu'on veut obtenir. Des sirops qui entrent dans l'osmogène à 41° B, peuvent en sortir à 30, à 25, à 10° ou même moins encore, et plus l'affaiblissement du sirop est grand, plus l'épuration saline est profonde.

« La température du sirop, avant son introduction, peut varier de 60 à 75°, et elle a pour but d'empêcher la fermentation ; celle de l'eau ne doit pas ordinairement être inférieure à 85° pour le même motif ; une fois réglée, la température doit rester constante.

« *Lavages.* — Les lavages peuvent être faits tous les jours ou à deux ou trois jours d'intervalle, suivant la qualité des sirops. Ils sont rendus nécessaires par l'encrassement des cadres et par les dépôts boueux provenant de la qualité des eaux et d'une épuration calcaire complexe due à l'osmose, ou encore par des altérations qui se manifestent par des gaz et des projections dans les petits tubes en verre *g* des cadres à eau (fig. 161). On vide alors l'appareil en faisant écouler l'eau et le sirop qu'il contient par les robinets X, dont un seul est visible (fig. 160), on ouvre ensuite le robinet de communication U (fig. 159) et on introduit de l'eau chaude : 1° par le robinet E' qui est l'entonnoir ordinaire d'introduction de l'eau, et 2° par l'entonnoir à sirop D'. La communication étant libre, on n'a pas à craindre de surcharge et cette opération peut se faire rapidement. L'appareil étant plein, on peut laisser sortir l'eau pendant quelques instants par les éprouvettes à eau et à sirop en fermant le robinet de communication U, après quoi on vide complètement. On peut ensuite remettre le travail en train en introduisant de l'eau et du sirop, comme il a été expliqué ci-dessus.

« L'entonnoir à sirop D' est ovale. Il porte intérieurement deux triangles sur lesquels on place une petite corbeille en toile métallique de 0^m,10 de haut sur 0^m,10 de large, dans laquelle tombe le sirop. Cette espèce de filtre sert à retirer les corps étrangers qui se trouvent souvent dans les sirops, et dont l'introduction dans les cadres de l'appareil pourrait entraver la marche et la circulation du liquide.

« Il est à remarquer, comme exemple général, que lorsqu'on travaille à eaux perdues, l'eau d'exosmose peut être expulsée sans inconvénient à 1 ou 2° Baumé ; mais, lorsque l'on veut la concentrer, on a intérêt à l'obtenir plus forte, et dans ce but on en règle l'introduction de manière qu'à la sortie sa densité s'élève à 3, 4 ou même à 5° et plus. Lorsqu'on réosmose des sirops salés provenant d'eaux d'exosmose concentrées, la densité des nouvelles eaux d'exosmose peut être portée à la sortie à 6 ou 7° B.

« C'est ainsi qu'au moyen de l'osmose, on peut faire sortir de la mélasse : 1° du sucre ; 2° des chlorures de potassium et de sodium ; 3° du

nitrate de potasse, qui sont tous parfaitement cristallisés. Ce dernier travail n'a été pratiqué que dans quelques usines. »

Changement des papiers. — Les sommiers C' des osmogènes étaient munis autrefois dans le bas, de deux petits tourillons tournant dans des coussinets fixés sur les longrines J, en sorte que pour changer le papier-parchemin, il suffisait pour sortir les cadres, de desserrer les boulons et de faire basculer les sommiers après avoir démonté les tubes qui y sont fixés.

Aujourd'hui, on se contente de remplacer les boulons R par de grandes tiges de fer, et de tirer à soi le sommier d'arrière, qui reste vertical, maintenu par les tiges. Dans cette position, les cadres se séparent d'eux-mêmes, comme dans un filtre-presse, et l'on peut avec facilité changer les papiers.

Les papiers parchemin durent 15 jours environ.

Dans le cas où l'on a de grandes masses liquides à osmoser, plutôt que de multiplier à l'infini le nombre des osmogènes, on a construit des appareils à 100 cadres. L'alimentation des eaux et sirops se fait par les deux bouts. Voici la légende des figures, 159 étant une élévation dans un plan parallèle à celui des sommiers, 160 dans un plan perpendiculaire, et 161 la vue d'un des cadres à eau.

c, c' sommiers de l'osmogène, composés chacun de madriers de chêne dont les joints bien étanches sont faits à languettes et rainures; le pourtour est garni d'une bride en fer, faisant fonction d'armature et sur laquelle porte le serrage des boulons.

R, R boulons de serrage.

1, 3, 5, 7, etc., série des cadres à sirop.

2, 4, 6, 8, etc., série des cadres à eau, dans lesquels (fig. 161) *a* est le cadre en bois traversé par quatre barrettes également espacées et parallèles à ses longs côtés.

b trous au nombre de six dans lesquels passent les boulons d'assemblage, qui serrent tous les cadres entre les sommiers.

c, c' ouvertures ovales placées aux extrémités d'une diagonale du cadre; l'une *c* est un élément du canal d'arrivée d'eau; l'autre *c'* est un élément du canal de sortie de cette eau devenue eau d'exosome.

d, d' ouvertures semblables aux précédentes et placées aux extrémités de l'autre diagonale du cadre; la première *d* est un élément du canal d'arrivée des sirops et la seconde *d'* est un élément du canal de sortie de ces mêmes sirops osmosés.

e, e' petits canaux correspondant aux ouvertures *c, c'*; ils sont faits

avec deux tubes de laiton noyés dans l'épaisseur des longs côtés du cadre. Dans les cadres à sirop, ils correspondent aux ouvertures *d* et *d'*.

f mortaises au nombre de quatre, pratiquées aux extrémités des barrettes dans une position d'alternance; leur position est inverse à celle-là dans les cadres à sirop.

g tube en verre indicateur du niveau du liquide dans les cadres à eau.

Les nombreuses lignes verticales, dessinées sur le cadre, dont quelques-unes manquent pour laisser voir les mortaises *f*, représentent les ficelles placées de chaque côté du cadre, et sur lesquelles se place le papier parchemin percé d'ouvertures correspondant aux ouvertures *b*, *c*, *c'*, *d*, *d'*. Ces ficelles passent au travers de petits trous sur les bords des longs côtés du cadre.

S, *S'* tubulures en fonte taraudées à l'intérieur pour recevoir des tuyaux filetés en fer.

T culotte en cuivre pour communication des deux séries de cadres.

U robinet de communication des cadres à eau et à sirop; il est fermé pendant le fonctionnement de l'appareil.

V tubes en verre indicateurs de niveau, placés sur la tranche d'un cadre à eau et d'un cadre à sirop.

D' entonnoir d'alimentation des sirops.

E' entonnoir d'alimentation d'eau.

F éprouvette à sirops osmosés.

F' éprouvette à eau d'exosmose.

W, *W* boîtes à raccord en bronze.

L tuyau d'air des cadres à eau.

X robinets de vidange correspondant aux collecteurs d'eau et de sirop.

Y, *Z* tuyaux de départ des sirops osmosés et des eaux d'exosmose, correspondant aux éprouvettes *F* et *F'*.

Osmogènes divers. — On a cherché à perfectionner l'osmogène de Dubrunfaut, et l'on n'est pas arrivé à l'améliorer sensiblement. La seule dépense qu'occasionne l'appareil est celle du papier parchemin. On s'est donc demandé si l'on ne pourrait pas lui assurer une durée plus grande. On a cru remarquer que dans les osmogènes, la partie la plus rapprochée de l'entrée du sirop s'altérait plus rapidement que l'autre; on a donc imaginé de retourner les papiers, le haut en bas, de manière à ce que l'usure fut égale partout. Pour arriver à ce résultat, on a construit des osmogènes, qui sont montés sur pivot et se retournent complètement, les sommiers changeant de place, celui d'avant

devenant sommier de derrière. On en a construit également qui ont la forme de filtres-presses, le serrage se faisant au moyen d'une vis à volant ; ici le retournement se fait suivant l'axe de l'osmogène. Enfin l'appareil Dehne, par le simple mouvement d'un robinet, envoie le sirop dans les cadres à eau et réciproquement.

Osmogène évaporateur. — Le seul perfectionnement réel qui ait été apporté à l'osmogène de Dubrunfaut, est dû à son digne successeur Leplay.

Le gros défaut de l'osmogène est le changement de densité de la mélasse qui entre à un degré Baumé élevé et en sort très mélangé d'eau, de sorte que dans les cadres la densité du liquide est plus grande en bas qu'en haut. D'autre part, comme l'osmose ne se fait bien qu'à haute densité, l'épuration est meilleure en bas qu'en haut ; c'est ce qui explique pourquoi le papier s'use inégalement. Par conséquent une partie de la surface des cadres est pour ainsi dire perdue.

Pour obvier à cet inconvénient, Leplay a construit les *osmogènes évaporateurs* qui consistent en osmogènes ordinaires surmontés d'une bassine à serpentins dans laquelle la mélasse osmosée revient sans cesse et reprend à chaque instant sa densité normale.

Cette bassine est formée par les cadres eux-mêmes dont les montants verticaux se prolongent plus haut que les traverses horizontales du haut, en sorte que, serrés les uns contre les autres, ils forment sur le dessus une cuvette dans laquelle on établit la surface de serpentins nécessaire pour maintenir constante la densité de la mélasse. On règle donc les robinets de manière à ce que le niveau reste constant dans la cuvette.

L'osmogène évaporateur a une puissance osmotique considérable, et donne des produits remarquables comme régularité et richesse.

Nous ne connaissons guère d'applications de cet excellent appareil qu'en Russie, où d'ailleurs il ne fonctionne plus. Il est venu trop tard. Peut-être renaîtra-t-il un jour.

§ 3. — Procédés divers.

PREMIERS PROCÉDÉS PAR LA BARYTE ET LA CHAUX

Dubrunfaut, en présence de l'insolubilité du sucrate de baryte, avait imaginé de traiter les mélasses, non par la baryte qui rend d'autres matières que le sucre insolubles, mais par le sulfure de baryum en excès. Il se formait un précipité de sucrate de baryte insoluble dans un excès de sulfure auquel on ajoutait encore de la soude caustique, de

manière à former du sucrate de baryte et du sulfhydrate de sulfure de sodium. Ce sucrate était recueilli sur un filtre, lavé, pressé, puis décomposé par un courant de gaz sulfureux qui met le sucre en liberté, avec précipitation de sulfite de baryte. Ce sulfite de baryte était ensuite transformé en sulfure de baryum.

Leplay, suivant une méthode analogue avec la chaux, saturait la mélasse diluée avec cette chaux, puis ajoutait du chlorure de calcium et de la soude, et portait le tout à l'ébullition. Il se faisait du chlorure de sodium, et la chaux, mise en liberté, se précipitait avec le sucre. Le sucrate de chaux était décomposé par l'acide carbonique.

Le procédé à la baryte a été repris plus tard avec succès par Nugues, comme nous allons le voir.

L'alcool a été employé aussi pour précipiter directement le sucre de la mélasse. Voici la description du procédé Margueritte par l'alcool.

« On mélange par l'agitation 1 kilogramme de mélasse, marquant à froid 47° Baumé, avec 1 litre d'alcool à 83°, acidulé de 5 % d'acide sulfurique (92 grammes). On obtient ainsi une liqueur qui, filtrée et additionnée de 1 litre d'alcool à 95°, fournit au contact de 500 grammes de sucre en poudre, en moins de cinq heures, un excédent de 350 grammes de sucre pur, soit 35 % du poids de la mélasse, ou 70 % du sucre qu'elle renferme. Ce produit, clarifié avec son volume d'alcool à 95°, puis séché, a pour composition 99,5 % de sucre cristallisable. »

Tel est ce procédé qui occupa beaucoup les esprits au moment de sa naissance, mais qui a été délaissé, vu les pertes qu'il occasionnait à cause du haut degré auquel on est obligé d'employer l'alcool.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur toutes ces différentes méthodes d'extraction du sucre de la mélasse, qui n'ont plus qu'un intérêt historique.

PRÉCIPITATION DU SUCRE PAR LA BARYTE (PROCÉDÉ NUGUES)

Nugues a recherché quelles étaient les meilleures conditions dans lesquelles le sucre et la baryte pouvaient se combiner en partant de la mélasse.

Il a trouvé qu'il fallait opérer sur des liquides chauds et concentrés, et il a déterminé la température et la concentration nécessaires. De plus, connaissant l'analyse d'une mélasse à traiter, il a établi les proportions de baryte à y ajouter pour saturer le sucre, les matières organiques et les sels. Ainsi pour 100 de sucre il faut 110 de baryte ($\text{BaO}^2 \text{H}^2, 8 \text{H}^2 \text{O}$), pour 100 de matières organiques 50 de baryte, et pour 100 de sels 100 de baryte.

En général, avec les mélasses normales de sucrerie, il faut employer 135 à 140 kilogrammes de baryte par 100 kilogrammes de sucre.

Ceci posé voici le mode opératoire : Dans un vase à double-fond muni à sa base d'un robinet, ce double-fond étant constitué par une toile métallique, on verse ensemble la quantité de mélasse et la quantité de baryte mesurées d'avance et portées à la température voulue. La mélasse est à 40° Baumé environ et la solution de baryte à 42° ou 45° Baumé.

Le mélange au moment où il vient d'être fait est parfaitement fluide. Mais au bout de quelque temps il se prend subitement en masse, le sucrate est formé. Il se présente alors sous une forme cristalline en grains suffisamment gros et bien détachés.

Ceci fait, on ouvre le robinet placé sous le faux-fond, et l'eau-mère s'écoule sous l'aspect d'un liquide noir très fluide. On lave le précipité à l'eau de baryte plusieurs fois de suite, opération très facile et très rapide, vu l'état grenu du sucrate, et celui-ci se présente alors sous la forme d'une masse blanche composée de sucrate de baryte souillé de 2 % environ d'impuretés à peine, avec 30 % d'eau.

Ce sucrate est alors carbonaté directement, et alors il donne une solution sucrée ayant 95 de pureté et 250 à 300 de coefficient salin. Ou bien on le remet dans le travail en sucrerie au lieu et place de chaux.

Les eaux-mères ne devraient pas contenir de sucre. Mais la mélasse qui se trouve dans le faux-fond passe avec elles, ce qui constitue la freinte la plus considérable dans le traitement.

Ces eaux-mères et les eaux de lavage, dont on se sert d'ailleurs méthodiquement pour le lavage des précipités ultérieurs, sont carbonatées pour en retirer la baryte à fin de revivification. Elles donnent d'ailleurs, après traitement et évaporation, une nouvelle mélasse que l'on traite de nouveau par la baryte pour obtenir les dernières traces de sucre. Après quoi elles vont au four à potasse.

Tel est ce procédé très simple, qui réussit admirablement à condition d'être dans les conditions exactes de concentration et de température, sinon le précipité est pâteux et ne se clairce pas.

Le matériel industriel nécessaire pour ce travail a été fort bien étudié par Fourcy, constructeur à Corbehem. L'élément principal, le vase à double-fond, se compose d'un baquet en tôle de 0,700 de hauteur et 1 mètre de diamètre à la base, 1^m,200 en haut, et qui est suspendu à 0^m,850 du sol sur deux pivots dont l'un porte un engrenage mû par une vis sans fin et une manivelle. De la sorte lorsque le baquet est plein de sucrate on le renverse avec la plus grande facilité pour le vider.

Le fond du baquet est une calotte sphérique de faible flèche, et porte un gros robinet dans sa partie la plus basse.

Au-dessus du baquet deux bacs mesureurs placés côte à côte sont destinés à recevoir la mélasse et la baryte. Ils sont en forme d'entonnoir pour pouvoir se vider intégralement dans le baquet. Une grande vanne permet de faire cette vidange presque instantanément. Les deux bacs reçoivent la vapeur nécessaire à leur chauffage rapide au degré voulu.

On installe ainsi côte à côte autant de baquets, avec leurs mesureurs, qu'il en faut pour le traitement des mélasses de l'usine où l'on fait le montage. Ainsi il en faut quatre pour traiter 15.000 kilogrammes de mélasse par jour. L'installation n'est donc pas bien dispendieuse.

Dans les pays où l'extraction du sucre des mélasses par la baryte est lucrative, le procédé Nugues paraît le plus simple et le plus pratique à appliquer.

§ 4. — Élution.

L'un des procédés imaginés pour extraire le sucre des mélasses, et qui ait donné lieu à des applications industrielles, se nomme *élution*. Voici à ce sujet les expériences qui ont été tentées de prime-abord, et que Feltz décrit ainsi : Après avoir transformé le sucre de la mélasse en sucrate tribasique de chaux, en mélangeant cette mélasse avec le quart de son poids de chaux environ, la masse s'est solidifiée. On l'a traitée alors par l'eau, dans laquelle on l'a fait macérer; le sucrate de chaux est resté solide et les sels et matières organiques se sont éliminés.

Le sucrate de chaux obtenu fut carbonaté et donna un sirop à 20°, ayant la composition :

Eau	60,60
Sucré	33,70
Impureté	5,70
	100,00

et qui cuisait très bien; mais ce procédé perdait beaucoup de sucre dans les eaux d'exosmose, car ces eaux contiennent, pour 100 de sucre, 73,46 seulement d'impuretés. On a proposé de modifier le mode opératoire en employant, comme épurateur, l'alcool à 37°.

Les pertes de sucre sont alors beaucoup moindres, et les eaux d'exosmose contiennent, pour 100 de sucre, 131 d'impuretés totales.

Le premier procédé est tout français et appartient à Lair et Bilange, le second a pris le nom d'*élution* entre les mains du D^r Scheibler.

Pour mettre ce procédé en pratique, il faut dessécher autant que possible le magma de mélasse et de chaux, et on le soumet ensuite, à l'état pulvérulent, à un lavage méthodique à l'alcool à 37 ou 40 %.

Le sucrate de chaux, surtout quand il est bien desséché, est insoluble dans l'alcool, tandis que les autres éléments de la mélasse s'y dissolvent plus facilement. On obtient donc une poudre contenant du sucre et un grand excès de chaux, que l'on peut traiter par l'acide carbonique pour en extraire le sucre, ou, plus économiquement, qui peut servir comme de chaux dans la carbonatation. L'alcool est distillé après avoir servi, et les pertes en sont faibles, vu son bas degré. Le résidu pâteux de la distillation est un bon engrais.

Le Dr Scheibler prétend retirer ainsi 40 % du sucre de la mélasse. La dessiccation du sucrate est le point le plus difficile de l'opération. Cependant, pour la faciliter, on a proposé de mélanger la mélasse avec de la sciure de bois, en même temps qu'avec de la chaux : 1^{er}, 8 de sciure pour 10 kilogrammes de mélasse et 3 kilogrammes de chaux. On coule la masse sur une plaque, on la fait sécher alors très facilement. Un simple lavage à l'eau enlève la sciure qui est séchée et sert indéfiniment. Quoi qu'il en soit, cette dessiccation demande une installation spéciale qui, jointe à l'achat dispendieux aussi des appareils à distiller, firent reculer les usines montées sans l'application de ce système; mais les fabriques nouvelles adoptèrent assez volontiers ce procédé en Allemagne, d'autant plus qu'il avait reçu une application plus facile depuis les transformations que Seyferth lui avait fait subir, et qui dispensaient de cette dessiccation. Voici, en résumé, le procédé de Seyferth :

Il est indispensable d'employer pour cet usage de la chaux très pure, exempte surtout d'argile; elle doit être récemment préparée pour ne pas présenter trace d'hydratation, pulvérisée très finement, sans morceaux dans la masse, qui provoqueraient des désordres graves.

La mélasse doit être à 44,21 Baumé, et à une température de 30 à 35°, et filtrée sur une tôle perforée pour enlever les corps étrangers, pailles ou autres, qu'elle pourrait contenir.

On ajoute 30 à 40 de chaux vive pulvérisée à 100 de mélasse, on brasse bien pour effectuer un mélange parfait, et on vide la masse pâteuse dans des petits bacs ayant 33 centimètres de hauteur et 67 et 50 centimètres sur les autres dimensions. Dans ces bacs, la réaction commence, la masse s'échauffe jusqu'à 125°, l'eau s'évapore, soulève la masse qui foisonne de 1 à 3 ou 4 volumes. En même temps que d'eau, il se fait un dégagement d'ammoniaque dans le rapport de 2,35 de vapeur d'eau pour 0,008 d'ammoniaque par 100 de mélasse.

Pendant ce foisonnement, on remue le mélange, de peur qu'il ne déborde. Parfois il arrive qu'en un point la chaux, mal mélangée, se trouve en trop grande abondance; alors la température s'élève tellement que le feu se met dans le bac et qu'une flamme claire se dégage. Quand

L'odeur avertit que ce phénomène va se passer, il faut vider immédiatement le bac sur le sol de l'atelier, qui doit être dallé. Le refroidissement subit qui en résulte arrête la combustion.

Lorsque la réaction est terminée, le tout se refroidit. On vide alors le bac, ce qui se fait facilement si l'on a eu le soin de l'enduire d'huile et de stéarine, et l'on concasse le pain à la machine en fragments gros comme une noix; la machine ne doit pas faire de poussière. Ces fragments sont ensuite jetés régulièrement dans de grands vases, ou éluteurs, de la forme des diffuseurs, qui sont disposés en batterie, et surmontés d'un tube de dégagement pour l'air déplacé, lequel tube plonge son extrémité dans une sorte de condenseur chargé de retenir l'alcool qui pourrait s'en dégager avec les gaz.

Dans ces éluteurs on envoie, par la partie inférieure, de l'alcool à 35 % qui séjourne 12 heures sur le mélange calcique. Au bout de ce temps de macération on évacue l'alcool qui est remplacé par une nouvelle quantité pendant 12 heures encore. Cet alcool, peu chargé, sert ultérieurement à la macération d'une nouvelle quantité de sel de chaux. L'alcool se renouvelle ainsi cinq ou six fois sur le sucrate qui reste à la fin suffisamment épuré. A ce moment on lance dans l'éluteur un jet de vapeur; l'alcool qui restait emprisonné dans le sucrate distille, tandis que le sucrate lui-même se réduit en bouillie et peut être évacué facilement. Tel est l'ensemble de cette opération. Nous ajouterons que l'alcool, surchargé des impuretés du sucrate, est très difficile à distiller convenablement à cause des mousses qu'il forme dans l'alambic; pour éviter d'envoyer des alcools trop impurs à la distillation, on charge les éluteurs remplis nouvellement avec de l'alcool neuf, qui, après douze heures de macération, est envoyé à l'alambic, ce n'est qu'alors que l'on dirige dans l'éluteur l'alcool provenant des appareils précédents. Le résidu de la distillation contient pour 100 parties de matières sèches :

Matière organique (inclus le sucre)	65,20
Cendres . . { Sels de soude et de potasse	24,40
{ Matière insoluble	10,40
	100,00

Les sels de soude et de potasse sont formés de :

Chlorure de sodium	3,01
Sulfate de soude	4,99
— de potasse	4,76
Carbonate de potasse	11,64
	24,40

Élution (systèmes divers). — On reproche à l'élution, et avec raison, de provoquer une élévation considérable de température au sein de la mélasse, ce qui a pour effet inévitable de brûler beaucoup de sucre. En effet, le sucrate obtenu par les procédés Scheibler et Seyferth est brun, et, délayé dans l'eau, donne un liquide jaune caractéristique. De plus, la diffusion des morceaux de sucrate, qui sont gros comme des œufs, quoique très poreux, est lente. Plusieurs inventeurs ont cherché à tourner ces difficultés : Veinrich fait des blocs de mélassate de chaux, qu'il divise et pulvérise ensuite; ces blocs sont obtenus par l'action de la chaux éteinte sur la mélasse chaude. La division des blocs s'effectue dans un mélangeur, au sein duquel on fait le lavage à l'alcool du degré voulu. Ce lavage peut se faire aussi dans des filtres-presses ou laveur quelconque.

Drevermann, de son côté, fait une solution de la mélasse dans l'alcool faible, et y ajoute la chaux fraîchement cuite, pulvérisée et baignée d'alcool. L'opération se fait dans un mélangeur clos, de telle sorte que l'alcool qui se trouve finalement dans l'appareil marque 36 %, et qu'il y ait, pour un équivalent de sucre, un peu plus de trois équivalents de chaux. On exécute dans le mélangeur une agitation prolongée. Le sucrate de chaux prend alors la forme de masses pisolithiques de la grosseur d'un pois. On envoie le tout aux filtres-presses en se servant du mélangeur comme de monte-jus, et l'on exécute un lavage méthodique à l'alcool.

Tous ces procédés sont complexes, et, pour éviter un mal, tombent dans un autre. Le seul procédé, employant l'alcool, qui réussisse et donne de bons résultats est le suivant.

§ 5. — Procédé Manoury.

Ce qui caractérise le procédé Manoury, et le différencie du procédé Seyferth, c'est la manière dont est fabriqué le sucrate. Nous allons suivre l'opération d'un bout à l'autre, et ferons plus tard les observations qu'elle nécessite.

La mélasse est ramenée à 42° Baumé, et contient, par exemple, à cette densité :

Sucre.	48,00	
Cendres	12,50	Coefficient = 3,84

On y ajoute alors un peu de carbonate de soude ou de potasse qui précipite la chaux combinée dans la mélasse et forme des sels organiques alcalins, solubles dans l'alcool, les sels de chaux correspondants y étant insolubles.

La mélasse ainsi préparée est emmagasinée dans un vase jaugé qui permet son introduction dans un mélangeur spécial. C'est un tambour creux, horizontal, dans l'axe duquel tourne un arbre carré portant cinq bras, se mouvant avec lui à la vitesse de 80 tours, quatre bras fixes formant chicane pour rompre le courant produit dans le liquide par la rotation des bras.

Dans le mélangeur on introduit une certaine quantité de chaux en poudre, éteinte de la manière suivante : on l'introduit en morceaux dans des paniers en osier ou en fer que l'on plonge dans l'eau et que l'on vide ensuite sur une aire où s'effectue le délitage et le foisonnement; elle est ensuite blutée, pour séparer les incuits et les pierres.

Quand la chaux est dans le tambour, on y laisse couler la quantité de mélasse correspondante, on met l'agitateur en mouvement, et au bout de 40 ou 50 tours, c'est-à-dire presque instantanément, le mélassate est formé, granuleux et dur, et mélangé avec un léger excès de chaux. On le passe dans une bluterie qui le déverse dans un éluteur en chargement.

La chaux et la mélasse dans le mélangeur sont en telles proportions que les 48 de sucre se trouvent en présence de 48 de chaux.

Les *éluteurs*, ou *éluseurs*, sont de grands cylindres capables de contenir 8,000 kilogrammes de sucrate. On commence par y introduire assez d'alcool à 40 % pour que le sucrate baigne en y tombant; puis, quand il est plein, on le ferme et on y effectue un lavage méthodique qui dure 20 heures environ, temps nécessaire pour que le sucrate soit épuré. Il y a quatre éluteurs, et l'épuisement s'obtient par trois fractionnements d'alcool, le quatrième éluteur étant en chargement. En totalité, on emploie 294 litres d'alcool à 40 % par 100 kilogrammes de mélasse employée.

Après l'épuration, on fait écouler l'alcool que l'on envoie à la rectification, et dans l'éluteur on introduit de la vapeur qui chasse l'alcool restant dans le sucrate et liquéfie ce dernier. On fait écouler le lait de sucrate qui pèse 35 à 40° Baumé, et contient en moyenne (à 38° B.), 16,50 de sucre et 16,50 de chaux.

100 kilogrammes de mélasse donnent 250 kilogrammes de sucrate liquide, et l'alcool de lavage contient, par 100 litres :

Sucres	2,29
Cendres	3,28

On a donc finalement, dans ce sucrate, pour 100 de mélasse employée :

Sucres	41,25	
Cendres	2,24	Coefficient = 18,41

On voit que le coefficient de la mélasse est considérablement remonté, que 100 de mélasse n'abandonnent dans les eaux de lavage que :

Sucre.	6,75
Cendres	9,96

Ce travail, comparé à l'osmose, paraît supérieur; mais il faut y ajouter que le prix du matériel, de l'alcool mis en œuvre, et des pertes d'alcool, forme un chiffre qui n'entre pas en ligne de compte dans l'osmose.

Les pertes en alcool sont cependant très faibles, car on ne fait usage dans le travail que d'alcool à 40 %, et Manoury a constaté que cette perte ne s'élève pas à plus de 2 % d'alcool à 40 %, ou 1 % d'alcool fort mauvais goût, dont le prix est peu élevé.

Les résidus sortent de l'appareil à distiller à 20° Baumé, et constituent un excellent engrais.

Nous ne parlons pas des frais résultant de la carbonatation de ce sucrate, si l'on voulait extraire le sucre directement de la mélasse, parce que ce sucrate est employé en guise de lait de chaux à la carbonatation du jus de betterave, dans la même proportion que le lait de chaux à 25 %. On fait ainsi rentrer en fabrication 90 à 92 % du sucre contenu dans la mélasse, la différence de ce nombre à 100 constituant la perte minime dans les eaux de lavage.

Devant cet heureux résultat, on a eu l'idée d'appliquer le procédé Manoury aux sirops d'égout de premier jet, de manière à ce que l'on obtienne ainsi le sucrate nécessaire à la carbonatation pendant la fabrication, sans être dans la nécessité d'acheter des mélasses pour subvenir aux besoins du chaulage des jus. On est arrivé ainsi à de très bons résultats, supprimant ainsi d'un seul coup le travail des seconds, des emplis, des mélasses, et réduisant la fabrication au râpage de la betterave et traitement des jus.

On pouvait craindre que l'introduction du sucrate dans les jus n'en changeât le travail d'une manière défavorable. Il n'en est rien, et les cuites avec addition de sucrate sont meilleures que celles correspondant au chaulage ordinaire. Voici, par exemple, deux analyses de cuite faites avec le même jus, l'un chaulé avec de la chaux, l'autre avec du sucrate :

	Cuite à la chaux.	Cuite au sucrate.
Sucre.	81,94	83,11
Cendres	4,96	4,26
Eau	6,43	6,93
Matière organique	6,67	5,70
	100,00	100,00
Coefficient de pureté	87,57	89,29
Quotient salin	16,52	19,50

On voit que l'avantage est tout au dernier, et que l'épuration par l'alcool donne des résultats très satisfaisants.

Comparé au procédé Seyferth, le procédé Manoury présente les avantages suivants : Le sucrate du premier procédé, qui est très poreux, tient trois ou quatre fois plus de place que le second, et le lavage en est cinq fois plus lent ; donc le procédé Seyferth occupe au moins quinze fois plus de place que l'autre, et emploiera cinq fois plus d'alcool. De plus, comme l'alcool dans les deux cas est chargé de la même quantité de sucre et d'impureté, il faudra faire beaucoup plus de fractionnements dans le premier que dans le second, et employer dès lors beaucoup plus d'éluteurs, soit 10 ou 12 dans l'un, 4 dans l'autre. Enfin, si les pertes d'alcool sont proportionnelles à la quantité de liquide employée, l'avantage est incontestablement au procédé Manoury.

Voici à combien revient le travail de l'élution Manoury :

Les frais et la main-d'œuvre s'élèvent à 1 fr. 45 c. par 100 kilogrammes de mélasse. En employant le sucrate au travail des jus, on trouve un bénéfice de 5 fr. 60 c. par 1,000 kilogrammes de betterave travaillés, se répartissant comme suit : (usine de Pierrefonds, Oise.)

DÉPENSES

1,200,000 kilogrammes de mélasse 12 francs.	=	144.000	
Transport et frais, 1 franc		12.000	
Main-d'œuvre, 1 fr. 50		18.000	
Intérêt, amortissement du capital, 70,000 francs	=	8.000	
		<u>182.000</u>	182.000

RECETTES

590.000 kilogrammes de masse cuite donnant :			
50 % sucre de 1 ^{er} jet à 65 francs.			
20 % sucre de 2 ^{me} jet à 55 francs.			
28 % mélasse à 12 francs.			
1,50 % salins			294.474
			<u>294.474</u>
Bénéfice			112.474

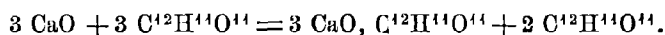
On avait ajouté le sucrate aux jus, de telle sorte que dans la cuite on retrouve poids pour poids de sucre de mélasse et de betterave. Le travail de l'usine étant de 2,000 tonnes de betterave, le bénéfice ressort à 5 fr. 623 par tonne (au prix du sucre et de la mélasse à cette époque déjà lointaine).

A l'usine de Mareil (Oise), on a employé le procédé Manoury aux égouts de premier jet. Dans ce cas, les livres de l'usine ont constaté un bénéfice de 6 fr. 879, près de 7 francs par 1,000 kilogrammes de betterave travaillés ; l'intérêt de l'argent représenté par les 2^e et 3^e jets, et les

mélasses en citerne, le turbinage d'été qui coûte très cher, et le chauffage indéfini des emplis, la manutention des mélasses, etc., se trouvent compensés par les frais de main-d'œuvre supplémentaires, les pertes d'alcool, 2 % d'alcool à 40 %, le combustible et l'amortissement du capital. Cependant, dans une usine construite en vue de ce travail spécial, il y aurait peut-être un avantage plus considérable dû à la suppression totale des emplis et à la terminaison rapide du travail qui n'irait pas au delà des premiers jets.

§ 6. — Substitution,

Les procédés de l'éluion qui emploient de l'alcool en grande masse, ont toujours effrayé à tort ou à raison les fabricants, chances d'incendie, pertes possibles, etc., quoique jusqu'à ce jour rien ne soit venu confirmer ces craintes. Aussi a-t-on cherché à extraire le sucre des mélasses sans alcool. Nous avons vu que Lair avait essayé le lessivage du mélassesate de chaux par l'eau, et qu'il n'avait pas été heureux. Un ingénieur autrichien, Steffen, a poursuivi cette idée et est parvenu à faire un ensemble de travail connu sous le nom de *substitution Drucker-Steffen*. Ce procédé consiste à faire le sucrate à l'ébullition. Si l'on se reporte à ce que nous avons dit dans le livre premier sur les sucrales, on voit que si l'on a un sucrate contenant un seul équivalent de chaux et qu'on le porte à l'ébullition, toute la chaux se combine à un tiers du sucre en présence pour faire du sucrate tribasique de chaux, et que deux tiers du sucre restent libres.



Si l'on filtre à chaud, on sépare le sucrate tribasique que l'on peut traiter en vue de l'extraction du sucre qu'il contient, tandis que la liqueur filtrée, ne renfermant plus que du sucre, peut être traitée de nouveau par la chaux, portée à l'ébullition, filtrée pour en extraire une nouvelle quantité de sucrate, et ainsi de suite, jusqu'à *réduction* à peu près complète du sucre dans la solution. Mais, si après le premier traitement par la chaux, on ajoute une nouvelle quantité de sucre équivalente à la première, on aura fait la *substitution* d'un équivalent de sucre par un autre dans la même liqueur qui pourra servir ainsi indéfiniment. Tel est le procédé Steffen.

La mélasse est additionnée de chaux, portée à 110°, et le sucrate tribasique est extrait par filtration; au sucre enlevé de la sorte, on *substitue* une nouvelle quantité de sucre par l'addition d'une quantité de mélasse correspondante; on recommence le chauffage, la filtration, puis la

substitution plusieurs fois, jusqu'à ce que le liquide, qui se charge de toutes les matières étrangères au sucre contenues dans la mélasse, soit assez impur pour rendre le travail difficile. Alors, on procède à la *réduction* de la liqueur, c'est-à-dire qu'on continue le travail sans addition de sucre nouveau, jusqu'à ce qu'enfin on ne puisse plus rien retirer. On fait huit ou neuf substitutions successives, qui enlèvent chaque fois le tiers du sucre contenu dans la mélasse, et, après la réduction, le liquide pèse 15° ou 16° Brix et ne contient plus que 2,6 à 2,8 % de sucre.

Les essais de la *substitution* ont été faits dans l'usine de Dolloplass. Le matériel se compose de huit ou dix réservoirs avec agitateurs à bras, disposés en plein air, dans lesquels on introduit la mélasse, puis de l'eau jusqu'à ce que le mélange ne contienne plus que 10 % de sucre. On y met ensuite le lait de chaux qui est à 20° B., de manière à ce qu'il y ait 28 de chaux pour 100 de sucre, c'est-à-dire un peu plus que l'équivalent. La température ne doit pas s'élever au-dessus de 10° centigrades. On mélange pendant 8 à 10 heures, et l'on introduit le tout dans une chaudière close timbrée à haute pression, qui contient des serpentins de chauffage, et dans laquelle le mélange est porté à 110°. Dans cette chaudière se forme le sucrate que l'on filtre dans des filtres-presses, et le magma, qui contient encore du sucre interposé, est rejeté dans un mélangeur où l'on ajoute 120 % d'eau bouillante. Tous ces transports se font au moyen de vis dans des nochières chauffées, et, dans le mélangeur, un courant de vapeur entretient continuellement une température élevée.

On envoie de nouveau aux filtres-presses, dans lesquels on lave avec 33 ou 40 % d'eau bouillante. Enfin le sucrate de chaux ainsi lavé est porté dans un malaxeur où on le réduit à l'état de lait à 25° pour l'usage de la carbonatation des jus de betterave, ou à 6 à 8° si l'on veut le carbonater directement.

Quant aux eaux-mères qui contiennent encore 2/3 du sucre total au sortir des premiers filtres-presses, et qui sont très chaudes, il faut les refroidir. A cet effet, on les reçoit dans un appareil Hollefreund, qui se compose d'une chaudière close, munie d'un agitateur, dans laquelle on fait le vide. Le liquide entre en ébullition et se refroidit en se concentrant de 5 % environ. C'est dans cette chaudière que l'on fait la substitution, en ajoutant la nouvelle quantité de mélasse que l'on veut traiter. En sortant de là, le liquide est mélangé à celui qui s'écoule des seconds filtres-presses et passe sur un appareil rafraîchissoir, type Neubecker, composé d'une surface en tôle ondulée sous laquelle circule un courant d'eau froide. En sortant de cet appareil, la mélasse doit être au-dessous de 13°; on est parfois obligé d'employer de l'eau glacée par un procédé

quelconque, toujours coûteux. Enfin, tous ces liquides retournent au mélangeur pour être additionnés de chaux.

Tel est dans son ensemble le procédé Steffen. Reste à savoir s'il est économique. Son installation est assez simple, mais coûte aussi cher, si ce n'est plus, que le procédé Manoury, alcool compris. Il use beaucoup de vapeur, et quoique la théorie indique l'extraction du tiers du sucre à chaque substitution, on est loin d'arriver à ce résultat, comme l'indiquent les analyses de sucrales suivantes :

	Sucrale non épuré.	Sucrale épuré.
Chaux.	8,71	8,26
Sucre	15,42	11,56

dans lesquels le rapport de la chaux au sucre est loin d'être celui du sucrale tribasique, surtout après épuration, rapport qui devrait être comme 1/2. Les lavages enlèvent donc beaucoup de sucre, et chaque opération n'a dès lors qu'un effet actif médiocre, d'où nécessité d'avoir un gros matériel, et de dépenser beaucoup de vapeur.

§ 7. — Séparation Steffen.

Lorsque l'on introduit de la chaux hydratée dans l'eau sucrée, nous avons expliqué dans la première partie de cet ouvrage qu'il se forme des combinaisons entre le sucre et la chaux de composition très variable. Les deux principales sont le sucrale monobasique et le sucrale tribasique, toutes deux hydratées. En déshydratant ces combinaisons par un procédé quelconque, l'alcool par exemple, on obtient le sucrale bibasique, dont les cristaux sont anhydres, et le sucrale sexbasique anhydre également.

Si la chaux ajoutée est anhydre, selon des expériences plus récentes que les nôtres, il se fait directement du sucrale bibasique si les proportions de chaux sont bien dosées, et peut-être, avec grand excès de chaux, du sucrale sexbasique, *pourvu que la température soit basse*. Mais si la température s'élève au contact de la chaux, c'est que celle-ci s'hydrate, et alors on doit avoir dans le magma qui se forme un mélange des quatre sucrales précédents.

Nous avons vu que tous ces sucrales sont solubles dans l'eau sucrée, d'autant plus qu'il y a plus de sucre en présence. Dans l'eau faiblement sucrée la dissolution est lente ; dans l'eau pure il y a à la longue désagrégation du sucrale ; enfin dans le sucrale monobasique de chaux ou dans l'eau de chaux les précipités de sucrale se conservent presque indéfiniment.

Nous avons rappelé ces principes pour expliquer tous les phénomènes

qui se passent dans le procédé Steffen dont les réactions sont très compliquées.

Le procédé Steffen consiste à mélanger à la mélasse étendue de la chaux anhydre en poudre impalpable, en l'additionnant par petites portions, au milieu d'un réfrigérant, pour que la chaleur résultant de la combinaison du sucre avec la chaux n'élève pas la température du mélange, et que la chaux se combine au sucre sans s'hydrater. Car il semble d'après cette expérience que la chaux sous la forme impalpable ait plus de tendance à se combiner au sucre qu'à l'eau.

On ajoute donc la poudre de chaux par petites portions. Le premier corps qui doit se former doit être le sucrate bibasique. Mais comme on se trouve en présence d'une grande quantité de sucre, il se dissout immédiatement et forme du sucrate monobasique, jusqu'à ce que la presque totalité du sucre soit saturée de chaux.

A ce moment il doit se former du sucrate bibasique, avec le sucre non encore saturé, et il doit commencer à y avoir précipitation.

Un excès de chaux plus grand se trouve en présence d'une solution de sucrate monobasique, qui a peu d'affinité pour la chaux. Il doit donc se former de l'hydrate de chaux, avec élévation de température. Cet hydrate de chaux en présence du sucrate de chaux monobasique se dissout, et forme successivement toute la série des sucrares intermédiaires que nous avons signalés.

A partir de ce moment toute addition de chaux fournit de l'hydrate. On doit donc refroidir fortement pour conserver la température moyenne nécessaire à la formation des précipités.

Quand la chaux se trouve dans le rapport de trois équivalents pour un équivalent de sucre, le sucrate tribasique commence à se précipiter. On ajoute la chaux par petites portions jusqu'à ce que la presque totalité du sucrate tribasique soit précipitée, et l'on se trouve en présence d'une solution de sucrate monobasique très étendue d'eau. On ajoute encore de la chaux. Elle s'hydrate, se dissout en partie et forme de l'eau de chaux, et, en présence de ce liquide qui ne dissout pas les sucrares, les dernières portions de sucrate faisables se précipitent encore. De plus les portions de sucrate précipitées antérieurement se trouvant dans ce milieu non dissolvant, s'assemblent et forment des amas granuleux très propres à la filtration.

On a trouvé que ce précipité filtré contenait parfois le double de chaux qu'il en faudrait pour faire le sucrate tribasique, et même plus du double. Aulard s'est même demandé s'il ne se formait pas du sucrate sexbasique. Pour que cela soit possible il faudrait que la chaux anhydre ait plus d'affinité pour s'unir aux sucrares qu'à l'eau. Le sucrate tribasique

contenant trois molécules d'eau, il faudrait que la chaux se substitue à ces trois molécules d'eau pour faire le corps anhydre sucrate sexbasique, et que cette combinaison soit plus facile que celle de l'eau avec la chaux.

N'ayant pas fait d'expérience sur ce point nous n'oserions pas le supposer, surtout que la quantité d'eau en présence est considérable, car déjà une partie du sucre a dû être précipitée à l'état de sucrate tribasique avant que la réaction puisse se faire. Nous croyons plutôt que de la chaux est entraînée dans le précipité à l'état de chaux hydratée, ou peut-être à l'état de sous-combinaison, comme nous l'avons vu s'unir au carbonate de chaux dans la carbonatation. Dans la formation des sucrares et leur redissolution par le sucre, il se précipite de la chaux hydratée (CaOH^2O) qui jouit de toutes les propriétés des corps à l'état naissant et qui peut se souder à certains sucrares incomplets et au sucrate tribasique en particulier, sans faire pour cela le corps nommé sucrate sexbasique qui est anhydre.

De plus, si pulvérisée que soit la chaux, elle n'est pas sous sa forme moléculaire. Dès lors elle peut ne pas se dissoudre entièrement et être entraînée mécaniquement dans le magma au sein duquel elle s'hydrate lentement, ce qui expliquerait sa facile solubilité dans l'eau sucrée, aussi aisée que celle des sucrares eux-mêmes. Et cette explication paraît plus plausible, étant donnée la grande variété de composition des sucrares. Avec de la chaux précipitée et non pulvérisée, on n'aurait pensons-nous, dans le magma, que du sucrate tribasique mélangé à la petite quantité de sucrate bibasique formée au début, si toutefois elle peut subsister dans un milieu aussi aqueux.

Telle est la théorie de la *séparation* du sucre de ses eaux-mères par le procédé Steffen, dans laquelle on ne devrait avoir d'un côté que du sucrate et de l'autre une dissolution de toutes les impuretés de la mélasse sans trace de sucre.

En pratique, les eaux-mères contiennent encore un peu de sucrate dissous, car le sucrate tribasique est soluble dans 200 parties d'eau, et peut-être encore une faible portion de sucrate monobasique non atteint par la chaux, à cause de la grande dilution dans laquelle il se trouve à la fin de l'opération.

Quant au procédé par lui-même il nous sera facile de l'expliquer rapidement maintenant.

Il faut d'abord préparer de la chaux finement pulvérisée, en poussière impalpable. De plus il faut de la chaux bien pure. A cet effet on devra soigner d'abord convenablement le four à chaux, choisir la pierre de manière à ce qu'elle soit aussi pure que possible, et la brûler le mieux possible dans le four. Puis au défournement prélever la chaux passée

au gros crible pour n'avoir que de beaux morceaux, en éliminant tous les incuits ou trop cuits, pierres, etc.

Enfin cette chaux est concassée au broyeur et portée au moulin. Le moulin à chaux est identique à un moulin à farine de blé. On y trouve une paire de meules en silex, des élévateurs, des bluteries avec toiles n° 110 et 120, le tout hermétiquement clos, car la farine de chaux est tellement légère qu'elle vole partout, et si les précautions ne sont pas bien prises l'atmosphère est dans la meunerie absolument irrespirable. Les ouvriers sont obligés d'y travailler avec un épais bandeau sur la bouche et sur le nez. D'ailleurs nous avons vu de ces ateliers parfaitement tenus où l'on séjournait aussi facilement que dans le reste de l'usine sans respirer de poussière de chaux ; ce n'est donc qu'une question de bonnes dispositions.

L'appareil dans lequel se fait la *séparation* (fig. 162), est une chaudière verticale qui ressemble à première vue à une caisse de triple-effet. Comme elle, elle a ses plaques tubulaires, ses tubes de circulation intérieure, et son gros tube central. Seulement dans l'axe se trouve un arbre tournant par une transmission extérieure placée à la partie supérieure de la caisse. Cet arbre est muni de palettes inclinées et de bras agitateurs qui tournent dans le gros tube central, procurant un mouvement de circulation au liquide et en même temps une forte agitation. De plus sur le fond de dessus se trouve une trémie, et, entre la trémie et le fond, un système distributeur à ailettes, dit *tourniquet*, qui servira à distribuer la chaux. A côté est un entonnoir pour charger la mélasse. L'appareil comporte un système de glaces pour voir le liquide à l'intérieur, un thermomètre sensible plongeant dans la mélasse, un robinet d'eau, un autre pour les petites eaux, et enfin au-dessous un clapet de vidange. L'eau arrive à l'intérieur par une couronne placée à la partie supérieure et percée de petits trous, de manière qu'elle tombe en pluie très divisée dans la caisse et permet au besoin d'abattre les mousses.

Dans la partie intertubulaire circule de l'eau en grande masse. Cette eau doit provenir d'un réservoir en charge, que l'on emplit au moyen d'une pompe spéciale, laquelle doit aspirer dans un puits aussi froid que possible. De la fraîcheur de l'eau dépend la réussite de l'opération.

La mélasse, qui a ordinairement 50 % de sucre, est pesée exactement suivant la capacité du *mélangeur-réfrigérant* (c'est ainsi qu'on appelle l'appareil que nous venons de décrire). Cette pesée se fait sur une bascule sensible sur laquelle est posé un bac, toujours le même. La mélasse est dans un réservoir en charge sur la bascule, qui elle-même est en charge sur l'appareil, et il suffit d'ouvrir un robinet placé au pied du bac pour que la mélasse coule d'elle-même dans le mélangeur.

On coule donc la mélasse et en même temps on fait couler l'eau, ou plutôt les petites eaux dont nous verrons plus loin la provenance, de manière à diluer la mélasse et l'amener à 12° Brix environ, soit 7 % de sucre. Eau et mélasse doivent être bien froides.

Quand le mélange est bien opéré, on commence à introduire la chaux.

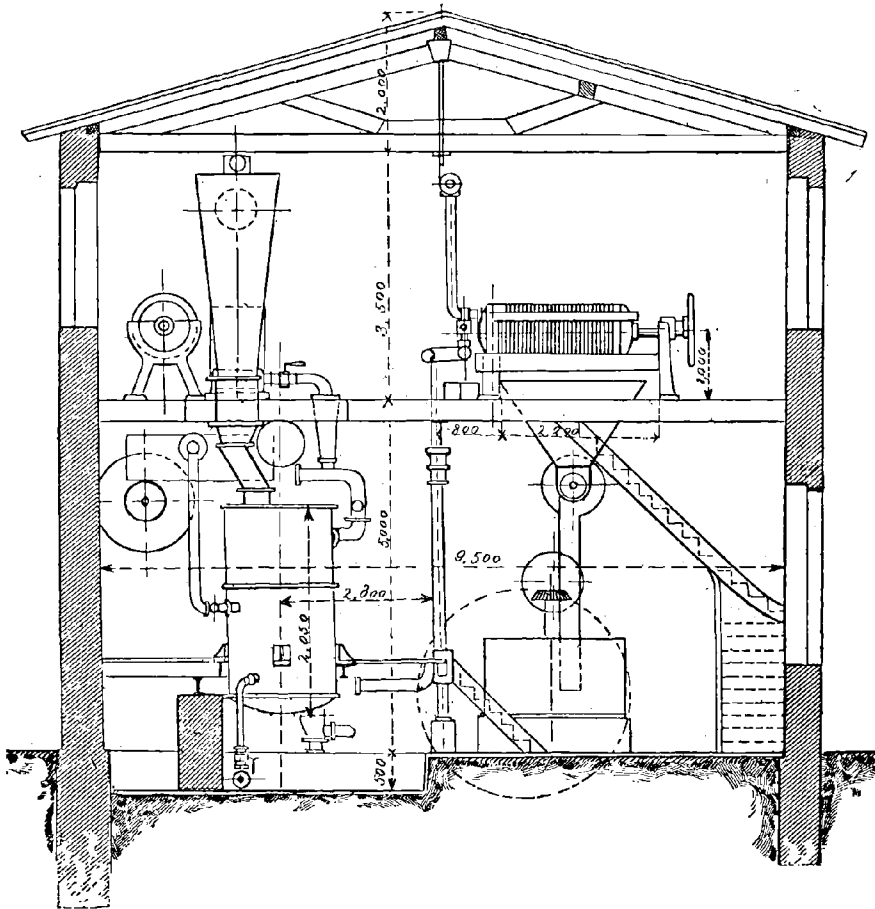


Fig. 162.

A cet effet on emplit la trémie qui est au-dessus de l'appareil avec de la farine de chaux, et d'un tour de manivelle on fait mouvoir le tourniquet qui délivre la première portion, environ 20 kilos. On laisse le mélange se faire, on consulte le thermomètre, et s'il n'a pas changé on fait une seconde charge. On continue ainsi, et lorsque l'on voit la température augmenter davantage c'est que la séparation commence. A ce

moment il faut être attentif, ne faire les charges que par demi-tours, et même quarts de tours au besoin, de manière à ne pas laisser monter la température au delà de 18°, et après chaque charge laisser redescendre le thermomètre.

L'opération dure environ de 40 minutes à une heure pendant lesquelles on a versé 130 à 140 kilos de chaux par 100 kilos de mélasse. Or ces appareils contiennent 150 à 375 kilos de mélasse suivant la dimension ; le calcul est donc facile à faire.

La fin de l'opération se voit facilement. Tout le sucre étant précipité, l'eau-mère a une densité bien moindre que le mélange primitif. Il suffit donc, quand on approche de la fin, de prélever un échantillon du liquide, de le filtrer et de le peser à l'aréomètre Brix. Lorsqu'après deux charges consécutives le degré Brix ne change plus, c'est que l'opération est terminée. La mélasse pesait 12 Brix, l'eau-mère pèsera 5 à 6 Brix, la différence est donc très sensible.

Lorsque l'opération est terminée, on vide rapidement l'appareil dans un bac muni d'un agitateur et dans lequel prend la pompe des filtres-presses.

Il faut que toutes ces opérations soient faites rapidement, aussi bien le sucrate dans l'appareil que le passage aux filtres-presses. Car, lorsque l'une de ces opérations languit, le sucrate se déforme rapidement et du sucre est remis en liberté. Aussi met-on dans le mélangeur un peu de chaux en excès pour le temps de la vidange.

Les filtres-presses se remplissent au moyen d'une pompe comme cela se fait ordinairement. Seulement il ne faut pas presser trop pour pouvoir laver rapidement. Aussi la pompe est-elle réglée à 1 1/2 à 2 atmosphères. 250 kilos de mélasse donnent 830 kilos de sucrate. Il faut donc deux filtres-presses.

Quand ils sont pleins, on lave à l'eau froide. La première portion qui passe est l'eau-mère que l'on met de côté et forme 3 hectolitres. Puis on continue le lavage et l'on retire encore 5 hectolitres qui sont les *petites eaux* qui serviront dans une opération ultérieure à délayer la mélasse. Ces quantités ne sont pas absolues, elles doivent être déterminées à l'avance par le chef de fabrication d'après les analyses du laboratoire.

L'eau de lavage est mesurée d'avance dans un bac de manière à ce que l'ouvrier ne puisse pas se tromper, et parfois des sonneries lui indiquent qu'il a tiré ses trois premiers hectolitres et qu'il doit changer le tampon de la nochère du filtre-presse pour passer aux petites eaux. On a même fait des dispositifs automatiques pour que le flotteur fasse lui-même ce changement.

Le lavage ne doit durer que quelques minutes, 2 à 6 suivant que le sucrate est plus ou moins bien fait.

Des filtres-presses le sucrate tombe dans un mélangeur (fig. 162) où on le délaie avec de l'eau pour l'envoyer tel quel à l'usine.

Les eaux-mères contiennent tout le sucre régénéré pendant les opérations successives, et l'analyse y montre de 0,4 à 0,7 % de sucre, ce qui peut faire une perte de 200 kilos de sucre pour 5.000 kilos de mélasse. Aussi s'est-on inquiété de récupérer ce déchet inévitable.

En chauffant à 100° il se précipite du sucrate tribasique que l'on peut laver rapidement à l'eau bouillante par décantation. Mais ce moyen coûte cher. On préfère repasser les petites eaux à l'appareil avec addition d'une nouvelle quantité de chaux. Il se fait une précipitation de sucrate que l'on passe dans un filtre-presse spécial. Comme le liquide est très abondant, la filtration va vite, et le sucrate n'a même pas besoin d'être lavé ; on le réunit aux autres, et l'eau-mère qui ne contient plus que 0,2 % de sucre est rejetée, ou évaporée si l'on veut en retirer le salin.

Le sucrate a une pureté variable de 90 à 95. Si l'on travaille la mélasse de la fabrique, soit 4 % du poids de la betterave, on aura une quantité de sucrate contenant 2,5 à 3 de chaux pour 100 de betteraves, soit la quantité suffisante pour le chaulage du jus. Dans ce cas le travail est simple.

Le sucrate est envoyé à la fabrique dans le bac qui sert ordinairement pour le lait de chaux, et on le distribue dans les chaudières comme tel. Le sucrate tribasique en présence de l'eau sucrée se décompose en sucrate monobasique et chaux hydratée qui se dissout dans le jus et concourt à la défécation comme la chaux ordinaire. On carbonate et l'on continue le travail aussi bien que si rien n'était changé.

Si l'on avait un excès de sucrate dont on veuille se débarrasser, ou si l'on travaille plus de mélasse que n'en fournit la fabrique, en achetant des mélasses par exemple ou liquidant un ancien stock, lorsque la première carbonatation est filtrée, on ajoute dans le jus une certaine quantité de sucrate. Celui-ci se décompose en sucrate de chaux et chaux hydratée. Mais comme il y a excès de chaux, cet excès se précipite. On chauffe alors à 80° et on observe le dépôt à la cuiller, comme une carbonatation. Quand il se forme bien, on ferme la vapeur et l'on passe dans des filtres-presses spéciaux pour séparer la chaux. C'est ce que l'on a appelé l'opération de la *dissolution*, qui permet de travailler 10 kilos de mélasse par 100 kilos de betteraves.

Nous allons maintenant donner quelques chiffres fournis par Pellet dans une conférence qu'il fit sur le procédé Steffen en 1885.

Voici par exemple l'analyse du contenu d'un mélangeur aux différentes phases d'une opération faite à Landen :

	SUCRE pour 100	ALCALINITÉ en chaux par litre	DENSITÉ de la solution filtrée
Solution normale de mélasse :	6.65	11.2	1056
Après 1 tourniquet	6.60	21.5	1063
— 2 —	6.40	26.2	1066
— 3 —	6.45	24	1069
— 4 —	6.80	24	1069.5
— 5 —	6.20	28	1063.2
— 6 —	4.50	24.8	1055.5
— 7 —	3.30	22.8	1048.5
— 8 —	2.20	16.2	1038.5
— 9 —	0.70	17.2	1032
— 10 —	0.65	10.8	1028.4
— 11 —	0.60	10.8	1027.6

Travail journalier d'une sucrerie allemande (campagne 1884-85)

Betteraves	450,000 kil.			
Mélasse.	20,000 k. à 50 % de sucre, 65 de pureté.			
Mélasse par 100 kil. de betteraves	4,4			
Nombre de réfrigérants	3			
Quantité de mélasse par opération.	200 kil.			
Durée totale d'une opération	30 minutes.			
Température de l'eau du refroidisseur.	<table> <tbody> <tr> <td rowspan="2">}</td> <td>6 à 8° en décembre</td> </tr> <tr> <td>11 à 12° en novembre</td> </tr> </tbody> </table>	}	6 à 8° en décembre	11 à 12° en novembre
}	6 à 8° en décembre			
	11 à 12° en novembre			
Chaux totale	<table> <tbody> <tr> <td rowspan="2">}</td> <td>63 % de mélasse</td> </tr> <tr> <td>126 % du poids de sucre.</td> </tr> </tbody> </table>	}	63 % de mélasse	126 % du poids de sucre.
}	63 % de mélasse			
	126 % du poids de sucre.			
Pureté du saccharate à froid	92 à 95			
Pertes dans les eaux { non travaillées.	0,51			
{ traitées	0,1 à 0,2			
Sucre dans l'hydrate de chaux	1,22			
Sucre rentré pour 100 kil. de betteraves.	2 ^k , 20			
Chaux	2 ^k , 96 dont 20 % sont précipités à l'état d'hydrate.			

Frais de traitement par 100 kil. de mélasse.

La main-d'œuvre est variable avec les localités. De la comparaison faite entre plusieurs fabriques, elle peut être évaluée comme suit, ainsi que tous les autres éléments du calcul.

Main-d'œuvre	0, 50
Serviettes de filtre-pressé	0, 80
Charbon (75 kil. à 12 francs)	0, 90
Amortissement	1, 00
Chaux en plus (à 70 francs les 1.000 kil.)	0, 25
Total.	3, 45

Ce chiffre est d'ailleurs variable avec la quantité de betterave travaillée. Le bénéfice s'établit ainsi :

Dépenses : Mélasse acquittée 100 kil. à 18 francs.	18
Frais de fabrication (tout compris)	4
	22
Recettes : 90 % du sucre contenu, soit 45 kil. acquittés	
à 85 francs.	38, 25
Bénéfice par 100 kil. de mélasse.	16, 25

En Allemagne on a trouvé 18 fr. 75 de bénéfice. Les conditions ne sont pas les mêmes partout, et même, les cours variant, les bénéfices varient aussi, et le fabricant avant de commencer la séparation doit s'assurer d'après ces cours s'il a intérêt à traiter ou à vendre directement sa mélasse.

§ 8. — Procédés à la Strontiane.

La strontiane tient le milieu entre la chaux et la baryte dans ses réactions vis-à-vis du sucre. Tandis que la chaux fait facilement trois sucra-tes, la strontiane n'en fait que deux et la baryte un. Le sucra-te biba-sique de strontiane est plus facile à précipiter que le sucra-te triba-sique de chaux, mais il l'est moins que le sucra-te de baryte. Enfin les gise-ments de strontiane sont plus abondants dans certains pays, surtout en Allemagne, que ceux de baryte.

Ces qualités de la strontiane l'indiquaient donc naturellement aux chimistes pour le travail des liquides sucrés par précipitation de sucra-te insoluble ; aussi Dubrunfaut (1849) en fit-il une étude spéciale continuée par Leplay en vue de créer un procédé d'extraction du sucre des mé-lasses ou même des sirops de sucrerie. Mais la strontiane en ce temps coûtait trop cher, et l'idée fut abandonnée.

En 1872 elle fut reprise en Allemagne à la sucrerie de Dessau et en 1880 Scheibler prit un brevet pour ces procédés, la grande quantité de strontiane qu'on trouvait en Westphalie rendant ces procédés pratiques. Depuis on en a trouvé en Angleterre, ce qui permit à quelques indus-triels français de s'adonner également au travail par le sucra-te de stron-tiane.

L'une des qualités de la strontiane qui la fait préférer à la baryte, c'est sa facile revivification. Il suffit, en effet, de chauffer dans un four à gazogène le carbonate de strontiane pour le transformer en strontiane caustique. Il faut plus de chaleur que pour la chaux, mais moins que pour le carbonate de baryte, de sorte que cette opération est encore industrielle.

Une autre qualité, partagée avec la baryte et non avec la chaux, c'est sa facile cristallisation à l'état d'hydrate de strontiane. Il en résulte que, dans les opérations, on se sert de strontiane chimiquement pure puisqu'elle est cristallisée, et qu'après revivification on la purifie par cristallisation. Ce sont des qualités remarquables qui font de la strontiane un agent d'épuration et d'extraction très précieux en sucrerie.

En France l'extraction du sucre des mélasses n'ayant plus d'intérêt immédiat, la strontiane aussi bien que la baryte est abandonnée.

La strontiane, avons-nous dit, forme avec le sucre deux combinaisons. Le sucrate monobasique se précipite à froid sous la forme d'un gelée opaque, mais demande plusieurs heures pour que la précipitation soit complète.

Le sucrate bibasique se forme à haute température, 100° ou mieux sous pression, sous un aspect granuleux qui le rend très propre aux lavages en filtre-presse. Cette combinaison est peu stable mais se produit rapidement.

Scheibler a tenté d'utiliser ces deux formes de sucrate pour l'extraction du sucre des mélasses. Le procédé à chaud l'a emporté sur le procédé à froid, et c'est celui qui a été utilisé en France à la raffinerie Parisienne et à la raffinerie Say. Huit fabriques allemandes l'ont aussi adopté.

Les précautions à prendre dans ce procédé sont de tenir toujours le sucrate formé à la plus haute température possible, jusqu'au moment de son utilisation ; car, par le refroidissement, le sucrate bibasique se décompose en strontiane cristallisée et en sucrate de strontiane mal défini. Aussi tous les réservoirs, les élévateurs, les nochères qui servent à la fabrication et au transport du sucrate bibasique sont-ils entourés d'une enveloppe de vapeur.

On profite ensuite de cette instabilité du sucrate, pour revivifier par simple refroidissement une partie de la strontiane employée, n'envoyant par conséquent à la carbonatation que celle qui reste combinée au sucre à froid.

Voici donc comment on opérerait pour extraire le sucre de la mélasse, suivant la description qu'a donné G. Dureau de ce travail à la raffinerie Parisienne à Saint-Ouen.

Pour faire le sucrate bibasique il est nécessaire de mettre en présence du sucre de la mélasse près de trois fois son poids de strontiane hydratée. A cet effet à Saint-Ouen on délayait 100 kilogrammes de mélasse dans 400 litres d'eau de lavage des sucrares contenant environ 14 % de strontiane. Puis on y ajoutait environ 100 kilogrammes de strontiane régénérée provenant d'opérations antérieures, ce qui faisait 263 kilogrammes d'hydrate de strontiane pour 100 kilogrammes de sucre. L'opération se faisait dans les chaudières de 20 hectolitres, par charges successives de mélasse et de strontiane, et à l'ébullition soutenue.

Lorsque tout le sucrate est précipité, on fait couler tout le contenu de la chaudière dans des bacs à double-fond garni d'une toile métallique, et une sucette aspire le liquide dans un ballon.

Ce liquide est très foncé et contient 14 à 16 % de strontiane et 1 % de sucre environ. On l'envoie au refroidissement et la strontiane cristallise donnant des cristaux colorés en brun.

Lorsque le sucrate est bien débarrassé de son eau-mère, on le clairce au moyen d'eau bouillante contenant 10 % de strontiane. Ce liquide aspiré également par la sucette, sert à délayer la mélasse pour une opération ultérieure. On clairce jusqu'à ce que le sucrate n'ait plus qu'une légère teinte dans toute sa masse, et l'opération est terminée.

Alors on enlève le sucrate, on le porte sur des claies que l'on introduit dans des réservoirs verticaux hermétiquement clos comme les diffuseurs, et dans lesquels on fait circuler de l'eau froide provenant de la cristallisation de la strontiane et contenant 2 à 3 % de ce corps. Par suite de la basse température le sucrate se décompose, la strontiane hydratée cristallise, et l'on retire des réservoirs une eau sucrée pesant 10°, brune, et contenant environ 10 % de sucre et 3 % de strontiane.

La strontiane cristallisée est recueillie, turbinée, et sert à une opération ultérieure.

L'eau sucrée à 10° est chauffée à 30°, carbonatée, passée aux filtres-presses, et donne un liquide peu coloré à 96,5 de pureté qui est cuit en grains, et fournit 40 kilogrammes de raffiné pour 100 kilogrammes de mélasse à 50 %. L'égout de turbinage est remis en travail.

Quant aux eaux-mères primitives, lorsque par refroidissement elles ont abandonné leur strontiane, on les carbonate avec addition d'un peu de potasse pour saturer les acides organiques ; on passe aux filtres-presses, et le liquide est envoyé au four à potasse.

Toutes les boues de filtre-presses sont mises en briquettes, mélangées avec de la sciure de bois, puis portées au four à revivifier dont le gaz sert aux carbonatations.

La strontiane revivifiée est traitée par l'eau chaude dans une sorte de

batterie de diffusion. La liqueur pèse de 30° et par refroidissement abandonne des cristaux de strontiane. C'est l'eau-mère de cette opération, qui contient 3 % de strontiane, qui sert à délayer le sucrate.

Tel est ce procédé très complexe, mais qui a fort bien fonctionné partout où il a été appliqué.

100 kilogrammes de mélasse à 15 francs, avec 10 francs de frais de travail, ont rapporté 40 kilogrammes de sucre à 90 francs, plus 10 kilogrammes de mélasse à 15 francs, plus 10 kilogrammes de salins à 13 francs. Bénéfice 13 fr. 80 par 100 kilogrammes de mélasse travaillés.

LIVRE ONZIÈME

PRODUCTION DE VAPEUR

CHAPITRE PREMIER

LES COMBUSTIBLES

§ 1. — Généralités.

Sans avoir la prétention de traiter dans ce chapitre l'intéressante question des combustibles dans tout leur développement, nous allons cependant indiquer les principes généraux qui doivent conduire les fabricants dans leur choix.

En sucrerie d'ailleurs on emploie tous les combustibles suivant les centres où se trouvent les usines. Il est évident en effet que les usines qui sont à proximité d'un centre minier n'iront pas chercher ailleurs leur charbon, de telle sorte que la question combustible doit se doubler de celle de la grille et du foyer nécessaires pour brûler tous les charbons.

Nous ne parlerons donc ici que de la qualité des combustibles réservant à un autre chapitre la manière de les employer.

La première question qui se pose quand on emploie un combustible quelconque est de savoir la *quantité de vapeur* qu'il pourra développer dans un générateur.

On a cherché à s'en rendre compte de diverses manières. D'abord par essais directs, ce qui semble à première vue le meilleur système. Malheureusement ce moyen est défectueux en ce sens qu'à chaque espèce il faut une forme de foyer différente. On ne peut pas en effet brûler du charbon gras dans les mêmes foyers que des anthracites, du charbon brun ou du bois. L'essai direct ne répond donc qu'à une question, celle du combustible que l'on peut brûler sur une certaine grille avec un tirage déterminé.

En réalité quel que soit le combustible dont on dispose on peut toujours l'utiliser avantageusement en l'entourant des conditions nécessaires à son emploi.

L'essai direct n'est donc pas un moyen recommandable au point de

vue économique, puisqu'il peut amener à des résultats médiocres ou même mauvais avec tel combustible qui serait jugé excellent si les conditions d'établissement du générateur eussent répondu à sa nature. C'est ainsi par exemple que nous avons vu condamner le charbon en Russie par un pseudo-mécanicien qui voulait en brûler sur des grilles à bois, et ne parvenait qu'à produire de l'oxyde de carbone. Cet exemple typique exprime bien notre pensée ; c'est pourquoi nous le citons quelque peu extravagant qu'il paraisse.

Un second moyen est l'analyse. En calculant les quantités de calories développées par la combustion des éléments d'un corps donné, en retranchant l'humidité, les cendres, etc. on peut se rendre compte en effet de la chaleur dégagée par ce corps.

Mais ce procédé chimique ne donne pas encore toute satisfaction, parce que dans la pratique on n'obtient pas toutes les calories désignées par la théorie.

La méthode qui donne la quantité réelle de calories développées par la combustion est celle étudiée par Favre et Silbermann et plus tard dans des conditions plus pratiques par Berthelot. Elle consiste à brûler le combustible dans un calorimètre qui recueille toutes les calories développées. On est certain dans ce cas d'avoir un nombre exact, puisque la méthode est absolument directe et ne laisse aucun doute sur l'interprétation des chiffres, ce que ne fait pas l'analyse.

§ 2. — Calorimètres.

Le calorimètre Berthelot et Vieille répond en effet complètement à la question théorique. C'est alors à l'usinier de se rendre compte du nombre des calories développées qu'il pourra recueillir dans son générateur. Il devra se poser deux problèmes, soit disposer sa grille pour utiliser le mieux possible le combustible essayé, soit choisir le combustible parmi ceux essayés qui répondra le mieux à la disposition de sa grille. On entre alors en pleine pratique en toute connaissance de cause.

Le calorimètre Berthelot et Vieille a été modifié par Mahler. La *bombe calorimétrique* de Mahler (fig. 163) répondant mieux encore aux besoins industriels que celle de Berthelot et Vieille, nous allons en donner une description succincte.

Le corps principal a la forme d'un obus. C'est un vase en tôle d'acier embouti, fort résistant et dans lequel on opère la combustion. Il est fermé par un large bouchon d'acier vissé dessus, avec fermeture rendue étanche à l'aide d'une lame de plomb sertie dans une rainure et contre laquelle se fait le serrage. Au centre du bouchon, un robinet à vis percé

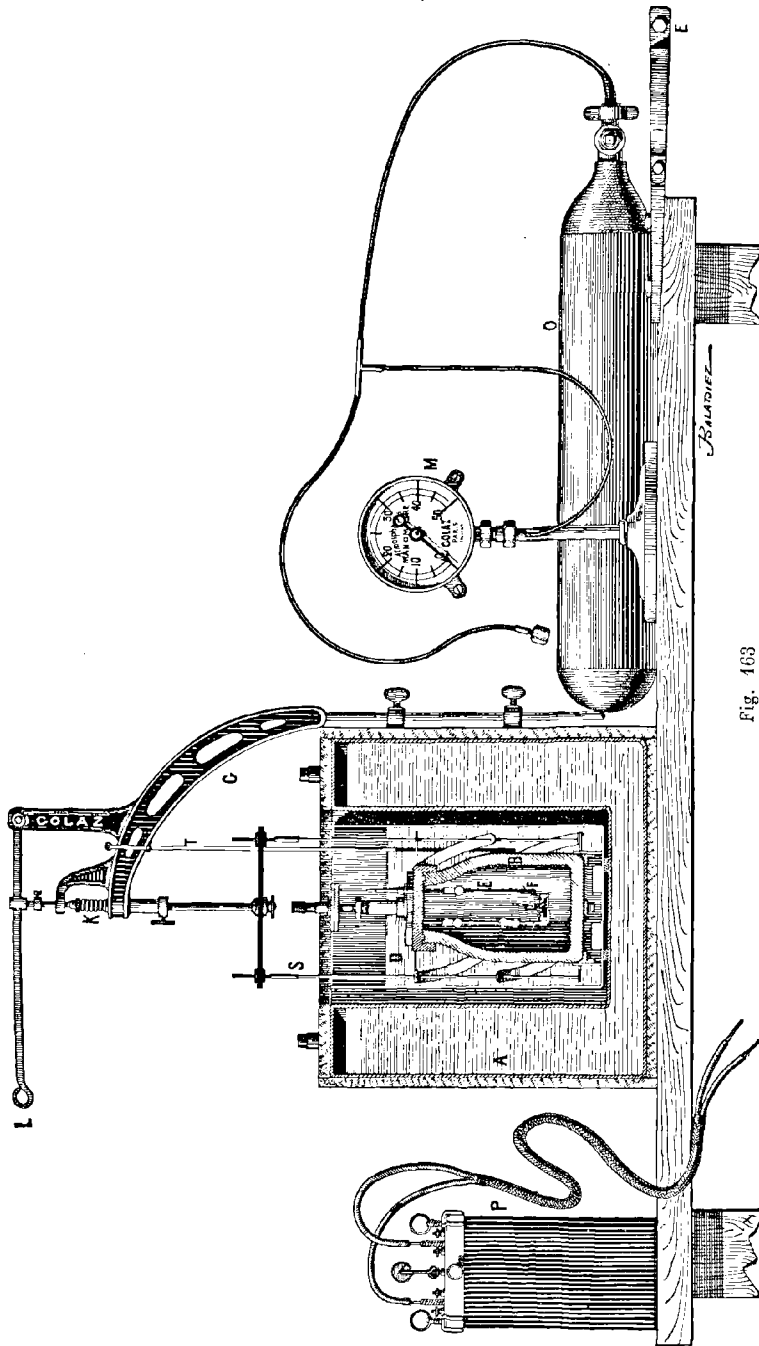


Fig. 163

LÉGENDE : A Enveloppe isolatrice ; — B Obus en acier émaillé ; — C Capsule en platine ; — D Calorimètre ; — E Électrode ; — F Fil de fer servant d'amorce ; — G Support de l'agitateur ; — K Mécanisme de l'agitateur ; — L Levier de l'agitateur ; — M Manomètre ; — O Tube d'oxygène ; — P Générateur d'électricité ; — S Agitateur ; — T Thermomètre ; — Z Pièce servant d'étan.

d'un trou dans son axe pour l'introduction de l'oxygène qui servira à la combustion. Sur le côté une électrode isolée pénètre dans la chambre, tandis qu'une seconde électrode placée à l'opposé sur le même rayon est soudée dans le bouchon lui-même. Ces deux électrodes pendent dans le vase et l'une d'elles supporte une coupelle en platine. On relie les deux électrodes au moyen d'une petite spirale de fer soutenue au-dessus de la coupelle.

C'est dans la coupelle que l'on met le combustible à essayer réduit en poussière et aggloméré s'il est besoin avec un peu de paraffine.

Le comburant est de l'oxygène sous une pression de 25 atmosphères, que l'on introduit par le centre du bouchon au moyen du robinet à vis. Cet oxygène est fourni par une bouteille d'oxygène comprimé du commerce que l'on met en communication avec la bombe au moyen d'un tuyau qui se visse sur le robinet. L'oxygène passe par le centre de ce robinet. Un manomètre placé sur le tuyau indique la pression dans la bombe.

La combustion se donne par l'intermédiaire d'une étincelle électrique. L'un des pôles de la bobine touche la bouteille tandis que l'autre est approché de l'électrode isolée. Aussitôt que le courant passe, la spirale de fil de fer rougit et brûle, allumant le combustible en analyse qui est brûlé lui-même instantanément.

Cette combustion développe de la chaleur. Pour la recueillir, la bombe est plongée dans l'eau d'un calorimètre, et c'est la lecture des thermomètres de l'appareil qui indique le nombre de calories développées.

La prise d'essai est 1 gramme. La capacité de la bombe est de 2 litres environ; elle pèse à peu près 5 kilogrammes, et son équivalent en eau au point de vue calorifique est 481 grammes. La lecture des résultats se fait méthodiquement, en notant la variation toutes les minutes jusqu'au maximum, et notant ensuite toutes les minutes les indications des thermomètres au refroidissement pendant le même nombre de minutes.

Pendant la combustion il se forme de l'acide azotique. Pour éviter les corrosions, l'intérieur de la bombe est recouvert d'une couche d'émail de très mince épaisseur. Si l'on a pesé la spirale de fer, dosé l'acide azotique formé, bien noté toutes les phases de l'expérience, le pouvoir calorifique du combustible s'obtient par la formule

$$Q = (\Delta + \alpha) (P + P') - (0,23 p + 1,6 p')$$

dans laquelle :

Δ est la différence de température observée;
 α la correction du refroidissement;
 P le poids de l'eau du calorimètre;
 P' l'équivalent en eau de l'obus et de ses accessoires;
 p le poids de l'acide azotique (Azo⁵,Ho) constaté;
 p' le poids de la spirale de fer;
 0,23 la chaleur de formation de 1 gramme d'Azo⁵,Ho;
 1,6 la chaleur de combustion de 1 gramme de fer.

Cette formule donne la valeur de Q avec une grande précision. En industrie on peut la simplifier tout en obtenant une approximation largement suffisante. Si l'on met en effet l'expression précédente sous la forme :

$$Q = \Delta (P + P') + [\alpha (P + P') - 0,28 p + 1,6 p']$$

le terme entre guillemets représentant toutes les corrections à faire pour obtenir le résultat exact, il est évident qu'on peut donner à l'appareil et au calorimètre des proportions telles que l'on ait sensiblement $\alpha(P + P') = (0,23p + 1,6p')$ c'est-à-dire que la correction soit à peu près nulle. L'expression devient donc seulement

$$Q = \Delta (P + P')$$

Après quelques tâtonnements on arrive à se rendre maître de cette nullité dans les corrections en donnant à l'écart de température et au poids du fer p' les valeurs nécessaires pour y arriver, et l'on obtient ainsi des chiffres qui approchent à $\frac{1}{250}$ près du nombre réel.

D'autre part, quand on connaît la composition chimique d'un corps, on peut en déterminer le pouvoir calorifique réel en recherchant avec l'obus les coefficients les plus rapprochés de la vérité à donner à C, H et (Az + O). On peut même éliminer (Az + O) en affectant la formule d'un nombre qui donne la valeur moyenne des calories développées pendant la combustion. Mahler est arrivé ainsi à poser la formule suivante qui se vérifie bien avec la plupart des combustibles.

$$Q = 111,4 C + 375 H - 3000$$

Cette valeur donne le nombre de calories pour 1 kilogramme de combustible. L'expression réelle devrait être

$$Q = \frac{8140 C + 34500 H - 3000 (O + Az)}{100}$$

POUVOIR CALORIFIQUE DES COMBUSTIBLES

	POUVOIR CALORIFIQUE		COMBUSTIBLES	COMBUSTIBLES	POUVOIR CALORIFIQUE			
	Observé	Déduction faite de l'eau et des cendres			Observé	Déduction faite de l'eau et des cendres		
Anthracites	7484	8256	Anthracite de Pensylvanie	Huille Rahante ligniteuse	Moulvic	7790	8670	
	7850	8456	Houille anthracite de Commentry		Blaury (puits Sainte-Marie)	7866	8350	
	7773	8203	Blaury		Decazeville (Hourran)	7486	8270	
	7850	8540	Grand Combe		Blaury (puits Saint-Eugène)	7408	8083	
	8404	8687	Creusot	Decazeville (Tramont)	7494	7837		
Grasses à cokos	8392	8656	Demi-grasse Anzin	Lignites	Terre de feu	4385	7039	
	8571	8756	Grand Combes		Trial (Styrie)	6284	6646	
	8426	8834	Aniche		Vaugirard	5536	6076	
	8051	8574	Anzin					
	8614	8839	Lons					
	8639	8639	Carmaux					
	8392	8857	Saint-Etienne					
Houilles grasses à gaz	8210	8658	Béthune	Rois	Sapin de Norvège (desséché)	4477	4828	
	8395	8749	Lons		Chêne de Lorraine	4329	4589	
	8161	8573	Firminy		Cellulose C ¹ H ¹⁰ O ¹⁰	4200	4200	
	7870	8408	Commentry					
	7761	8768	Cannal de Wigan					
	7703	8431	Cannel-Coal Niddric					
Pétroles	11094	11094	Pétrole d'Amérique	Cokes	Métallurgique de la Grand Combe	7010	7920	
	10913	10913	Huile lourde de Pétrôle d'Amérique		de houille de Commentry	7665	8001	
	11086	11086	Essence de Pétrôle d'Amérique		— demi-grasse d'Anzin	7787	8044	
	11047	11047	Pétrole raffiné		d'anthracite de Pensylvanie	7528	8036	
	11805	10843	Huile lourde de Bakou					
	10328	10328	Pétrole de Novorossik (Caucase)					
	10946	11163	Ozokérite de Boryslow					
MOYENNES								
	7900	8000	Des lignites		6375	6590		
	8490	8530	Des houilles flamantes		8150	8220		
	4630	5140	Des houilles grasses		8650	8700		
			Des bois et tourbes		8380	8400		
			Des bois et tourbes anthraciteuses					

et en effet elle permet d'apprécier le pouvoir calorifique de tous les combustibles d'origine végétale à 3 % près, tandis que la formule simplifiée peut donner des écarts de 5 % avec certains corps comme la tourbe ; mais pour les charbons ordinaires l'écart n'est guère que de 2 %. C'est insignifiant au point de vue industriel.

Ces formules ont donné lieu à des recherches très minutieuses et très longues pour établir des coefficients qui s'approprient bien à tous les corps. Nous ne pouvons pas malheureusement nous étendre plus longuement sur cette question, renvoyant au mémoire original de P. Mahler publié dans le *Bulletin de la Société d'encouragement* de 1893. Nous donnerons seulement ci-contre les résultats obtenus par l'auteur avec différents combustibles usités en industrie.

Dans ce tableau nous voyons les températures dégagées par des houilles oxydées. Cette désignation a besoin d'explication.

Mahler a fait un travail fort intéressant sur l'altération des houilles en tas.

Les travaux antérieurs de Fayol avaient prouvé que si les tas de houille s'échauffent à l'air jusqu'à provoquer parfois l'incendie de toute la masse, cela est dû à l'oxydation du carbone dans l'état particulier où il se trouve dans le charbon de terre au sortir de la mine. L'oxydation des pyrites que contient parfois le charbon ne suffit pas pour expliquer le phénomène.

Mahler a montré que la houille, exposée à l'air, augmente de poids. Il a fait l'analyse de ces houilles échauffées, en a mesuré le pouvoir calorifique et a trouvé :

Houille de Commentry.

	BRUTE	CHAUFFÉE
Carbone	85.664	72.652
Hydrogène	5.604	3.437
Oxygène et azote	8.732	23.911
	100.000	100.000
Pouvoir calorifique	8.408 calories	6.384 calories

Il y a donc fixation d'oxygène sur le carbone, et dès lors diminution du pouvoir calorifique. Le phénomène est très rapide car il suffit d'exposer l'échantillon de houille ci-dessus pendant huit jours dans une étuve pour obtenir le résultat précédent qui équivaut à une augmentation de 10 % en poids.

Si cette oxydation est spontanée il en résulte une élévation considérable de température suffisante pour expliquer l'ignition des tas.

Nous avons nous-même été témoin d'un incendie de cette sorte dans un monceau de charbons italiens qui foisonnait d'une façon remarquable et finit par prendre feu. Le carneau de la cheminée des générateurs passait par en dessous, ce qui probablement a fortement contribué à cette oxydation rapide.

L'exposition de certains charbons à l'air a donc au moins pour effet de diminuer considérablement leur pouvoir calorifique. Nous avons vu des charbons russes tomber en poussière dans les tas. Non seulement la pyrite qu'ils contenaient était complètement décomposée, mais la partie charbonneuse elle-même ne présentait plus l'aspect brillant qu'elle possédait auparavant. De plus les ouvriers constataient que ces charbons ne chauffaient plus dans les générateurs, et on était obligé de les abandonner. Malher explique la chose de la manière suivante.

Les tourbes et les lignites contiennent une assez grande quantité d'acide ulmique, facile à reconnaître en les traitant par la potasse.

Quand on traite une houille saine par la potasse, on ne trouve pas trace d'acide ulmique.

Au contraire, dans les houilles altérées par l'action de l'air, on trouve des quantités de cet acide ulmique qui provient sans conteste de l'oxydation du carbone et de la fixation d'une partie de l'hydrogène contenue dans la houille, l'acide ulmique étant un hydrate de carbone.

Aussi constate-t-on que les houilles chauffées prennent les caractères et le pouvoir calorifique des lignites.

Par conséquent le travail interne de la terre, qui a fait la houille avec des produits végétaux, se détruit par l'exposition à l'air de ces houilles qui reprennent leur nature primitive de lignite.

Nous avons tenu à mettre ces faits sous les yeux de nos lecteurs pour qu'ils prennent les précautions nécessaires à la conservation de leur combustible, et qu'ils sachent quels soins ils doivent apporter dans leurs approvisionnements de charbon.

Quand on le peut, il vaut donc beaucoup mieux ne pas avoir de stock à l'usine, et quand cela devient nécessaire on doit aménager les tas de telle sorte qu'ils soient le plus imperméables possible à l'air. Les charbons Russes dont je parlais précédemment étaient étendus en couche d'un mètre au plus sur le sol; il eût mieux valu les amonceler, l'extérieur seul eût souffert de l'oxydation.

Dans les pays chauds, il ne faut pas laisser le charbon exposé aux rayons torrides du soleil, car cet échauffement continu provoque la rapidité de l'oxydation, dans les mêmes conditions que l'exemple que je citais plus haut de charbons italiens chauffés par le carneau de la cheminée de l'usine.

Enfin chacun devra prendre les précautions qu'indique la nature du charbon qu'il achète et du climat qu'il habite.

Comme essai préalable à faire pour savoir ce que l'on doit craindre d'un combustible qu'on achète, l'exposition d'un échantillon pulvérisé dans une étuve pendant huit jours paraît devoir donner des indications satisfaisantes d'après l'augmentation de poids qu'il donnera. On verra que certaines houilles résistent, tandis que d'autres absorbent beaucoup d'oxygène. Alors on devra se méfier de ces dernières et ne pas les conserver longtemps en tas, sous peine de perdre une grande partie de son pouvoir calorifique.

§ 3. — De la combustion.

Lorsqu'un charbon se trouve en ignition sur la grille d'un foyer, il se passe une série de phénomènes qu'il est utile de connaître.

La houille exposée à la température des feux commence par distiller en dégageant des hydrocarbures combustibles, puis le coke formé entre en ignition lui-même. Les gaz de la combustion sont donc, pour les hydrocarbures, de l'eau et de l'acide carbonique, et pour le coke, de l'acide carbonique par oxydation immédiate ou ultérieure d'oxyde de carbone.

On ne devrait donc trouver dans les gaz de la combustion que de l'eau, de l'acide carbonique, puis de l'oxygène provenant de l'excès d'air qui traverse la grille et enfin l'azote de l'air.

Or, dans bien des cas, l'analyse décèle la présence inexplicable de l'oxyde de carbone. C'est surtout dans les fours industriels que cet oxyde de carbone se fait voir avec le plus de facilité par les flammes bleues qui se dégagent des carneaux et des cheminées. Dès l'instant qu'il y a combustion spontanée de ces gaz, c'est que l'oxygène s'y trouve en quantité suffisante, et que l'oxygène et l'oxyde de carbone ont cheminé ensemble sans se combiner.

La cause de ce phénomène doit se rechercher dans les effets de dissociation de l'acide carbonique sous l'influence des hautes températures.

H. Sainte-Claire Deville, dans ses beaux travaux sur la dissociation, avait trouvé qu'à 3.000 degrés la combinaison de l'oxyde de carbone et de l'oxygène ne pouvait exister; que vers 2.000 degrés la combinaison ne se fait que partiellement, c'est-à-dire qu'une certaine quantité d'acide carbonique se trouve mélangée à l'oxygène et l'oxyde de carbone, sans que la proportion d'acide carbonique formé puisse augmenter. Au-dessous de 2.000 degrés la quantité d'acide carbonique augmente rapidement dans le mélange.

En faisant l'expérience inverse, c'est-à-dire faisant passer un courant de gaz carbonique dans une enceinte portée à ces différentes températures, le gaz carbonique se décompose en oxyde de carbone et oxygène. C'est ce phénomène que Sainte-Claire Deville a nommé *Dissociation*.

Or, dans un foyer industriel, il est reconnu qu'avec de l'air froid comme comburant, on ne peut dépasser la température de 2.000 degrés, température à laquelle la dissociation atteint un point de mélange tel des trois gaz que le développement des calories de combustion est maximum.

Dans un foyer de générateur, si la couche de charbon est irrégulière, il se présente des points en ignition atteignant une très haute température. En ces points l'acide carbonique se dissocie, et, si le brassage des gaz ne se fait pas suffisamment dans la chambre de combustion, la combinaison ne se produit plus que partiellement, et de l'oxygène et de l'oxyde de carbone passent dans la cheminée.

Le phénomène de dissociation se fait dans toutes les flammes, au point le plus chaud, et l'on n'y attache pas assez d'importance en général; c'est pourquoi nous insistons dans ce paragraphe sur ce fait qui explique bien des anomalies.

Les règles de la combustion peuvent se formuler ainsi :

Le mélange du comburant, oxygène ou air, et du combustible, oxyde de carbone, doit être aussi intime que possible en ménageant dans la chambre de combustion un brassage énergique des gaz.

Pour que la combustion donne son maximum de température, elle doit se produire dans un espace très restreint où la *flamme* soit aussi courte que possible.

Lorsque la flamme s'allonge, le nombre de calories développé est bien le même, mais il se répartit sur toute la longueur de la flamme, et par conséquent chaque point en particulier possède une température moins élevée.

Lorsque la *flamme* courte ou longue rencontre des espaces à température élevée, le gaz carbonique se dissocie, et d'autant plus que cette température est plus haute; la dissociation enlève à la flamme autant de calories qu'en avait produit la combinaison des gaz qu'elle intéresse.

Dès lors, si la flamme est courte, la combinaison peut se faire à nouveau en présence de la température moins élevée du milieu dans lequel ils se trouvent reportés immédiatement. Si la flamme est longue, elle se refroidit suffisamment pour que la recombinaison n'ait plus lieu.

Donc pour avoir une température élevée il faut une flamme courte et localisée.

Moins localisée sera la combustion, moins fort sera le *coup de feu*,

moins grande sera l'élévation de température, moins considérable sera la dissociation, et plus grand aussi sera l'effet utile de la flamme comme chauffage.

De ces observations il résulte que, pour obtenir une bonne combustion dans les générateurs, il faut réunir plusieurs conditions.

Couvrir les grilles de manière à ce qu'il n'y ait pas de points en ignition plus forts que d'autres.

Opérer la combustion lentement, pour n'avoir pas une température trop élevée sur la grille; par conséquent avoir de grandes grilles.

Ménager au-dessus du foyer une chambre de combustion suffisante pour que le mélange des veines gazeuses se fasse convenablement, et pas assez grande pour que des courants s'y établissent qui nuiraient au brassage indispensable de tous ces gaz.

Si à ces règles on ajoute que le tirage doit être tel qu'il n'arrive sous la grille que la quantité d'air nécessaire à la combustion, on pourra rechercher alors les meilleures dispositions à prendre pour brûler tous les combustibles, et pour éviter les coups de feu qui brûlent les grilles ou les tôles des générateurs.

Pour éviter de brûler les grilles, il faut que la combustion se fasse dans la masse du charbon et non sur la grille.

Un tirage suffisant qui refroidit les barreaux et fait monter le feu au centre de la couche, un épandage régulier du combustible qui évite le passage trop rapide de l'air en un point plutôt qu'en un autre, un décrochage suffisamment fréquent des mâchefers lorsque l'on a des charbons qui en produisent beaucoup, sont les conditions qu'un bon chauffeur doit rechercher.

Pour ménager les tôles de coup de feu, avoir des grilles assez larges pour obtenir une combustion lente répartie sur une grande surface, avec un tirage et une disposition des carneaux tels que le brassage des gaz soit suffisamment énergique pour que la combustion soit régulière.

Avec des générateurs qui n'ont que des grilles restreintes, où le courant d'air sous la grille sera dès lors considérable, et où les coups de feu aux tôles de la chaudière seront à craindre, on devra employer des combustibles à longue flamme; tandis que sur les grandes grilles on n'aura aucun inconvénient à brûler les anthracites et les cokes. Néanmoins avec les houilles grasses, très hydrocarburées, demandant l'admission de beaucoup d'air sous la grille, les grands foyers seront seuls recommandables.

Pour le bois, les conditions sont autres. Il faut de très petites grilles et un grand tirage, avec une grande épaisseur de bûches. De la sorte le feu est *soufflé* comme avec un ventilateur. La température est alors

très élevée au point en ignition, mais comme le four est très chaud, que le bois qui se trouve au-dessus forme des obstacles aux veines gazeuses et les mélange intimement, toutes les combinaisons s'opèrent régulièrement, et l'on a des flammes longues et bien comburées qui ne peuvent brûler les générateurs.

Nous pensons que ces quelques considérations étaient utiles à énoncer après celles ayant rapport à la connaissance des combustibles. Elles guideront par la suite dans les opérations de contrôle de la marche des générateurs. Car si l'analyse décèle une composition anormale des gaz, et qu'il soit impossible de corriger cette composition avec les moyens ordinaires aux chauffeurs, c'est que le combustible n'est pas approprié à la grille ou à la forme de la chambre de chauffe des générateurs, et il faudra en changer; ou bien si l'on ne peut changer de combustible, on devra faire subir aux foyers une réfection telle que la combustion s'opère dans de bonnes conditions.

C'est ainsi que, par exemple, avec des charbons gras, les grilles inclinées sont tout indiquées, la distillation se faisant dans le haut de la grille, la combustion dans le centre et l'écoulement des mâchefers si abondants avec cette sorte de charbon, par le bas. Dans ces conditions la combustion de tous les éléments s'opère régulièrement, et sans fatigue pour la grille et le générateur, et aussi pour les ouvriers qui peinent tellement avec les grilles horizontales.

D'ailleurs la grille horizontale a de tels défauts qu'on aura toujours intérêt à la remplacer par un autre système, incliné, à étages, ou autres. Si elle se maintient ce n'est que par respect pour son antiquité; la routine des ingénieurs et le mauvais vouloir des chauffeurs de profession font le reste.

Il en est de même pour la fumivorté. Les fumées sont la preuve d'une mauvaise combustion des charbons. Et cependant, avec les grilles horizontales, on ne peut les éviter sans perdre beaucoup de calories du combustible par une trop grande admission d'air sous la grille. Les fumées noires sont donc la preuve de la mauvaise disposition des foyers.

Avec les grilles inclinées perfectionnées, telles que celle de Dulac, la fumivorté est complète, avec le maximum de rendement en eau vaporisée. C'est une preuve nouvelle de la nécessité d'abandonner les errements séculaires du maçonage des fourneaux pour revenir à des dispositions plus scientifiques et en même temps plus économiques.

CHAPITRE DEUXIÈME

CONTROLE DES GÉNÉRATEURS

§ 1. — Généralités.

Quand on a fait le choix d'un combustible en rapport avec les générateurs que contient une usine, il faut le brûler convenablement, ce à quoi on arrive en conduisant bien les feux et ouvrant les registres à la juste hauteur nécessaire pour avoir une bonne combustion.

Les chauffeurs habiles savent reconnaître comment conduire feux et registres pour tirer tout le parti possible du charbon et des générateurs dont ils disposent.

Néanmoins pour faire un contrôle sérieux il faut mesurer la température des gaz à leur sortie des registres et connaître la teneur en acide carbonique, azote, oxygène et oxyde de carbone, pour savoir s'ils sont bien brûlés et si un trop grand excès d'air n'a pas traversé la grille, refroidissant ainsi les gaz de la combustion.

La constatation de la température de ces gaz n'est pas suffisante, car on peut constater une basse température à la sortie des carneaux sans que pour cela le générateur ait bien utilisé les calories de la combustion, puisqu'il suffit d'une admission trop grande d'air sous la grille, de portes mal jointes, de fissures dans la maçonnerie pour obtenir ce résultat. L'analyse s'impose donc.

Le contrôle des générateurs se compose en conséquence de deux séries d'opérations, les unes essentiellement physiques, c'est-à-dire de la constatation de la température et de la mesure du tirage de la cheminée et des carneaux, les autres chimiques, limitées à l'analyse des gaz en différents points des carneaux et surtout à la sortie du registre de chaque générateur.

§ 2. — Pyromètres.

La température des gaz se mesure au moyen de pyromètres, et de calorimètres.

Les pyromètres sont basés sur la différence de la dilatation de deux

métaux ou d'un métal et d'une substance de faible dilatation comme le graphite.

Le pyromètre à graphite, qui est le meilleur de tous, se compose d'une gaine en cuivre dans laquelle se trouve une tige de graphite. La tige de graphite actionne une aiguille se plaçant sur un cadran divisé marquant les températures correspondantes à la différence de dilatation des deux corps.

Mais les métaux ont une propriété qui fait rejeter immédiatement tous ces genres d'instrument. Lorsqu'ils ont été soumis à un certain degré de dilatation, ils ne reprennent pas identiquement leur longueur primitive. En sorte qu'un pyromètre de ce genre est bientôt hors de service, ou au moins ses indications sont rapidement faussées.

Ces pyromètres à cadran sont donc des instruments toujours faux, sauf dans les premiers jours de fonctionnement.

Richard Frères, qui se sont fait une spécialité des instruments de mesure et de contrôle, ont construit deux pyromètres excellents.

Le pyromètre à gaz azote consiste en une chambre en porcelaine réunie à un manomètre par un tuyau métallique. La dilatation du gaz donne le degré de température du milieu dans lequel on plonge l'appareil.

Malheureusement l'étanchéité de la chambre en porcelaine est très difficile à obtenir ; mais quand on est en possession d'un bon appareil ses indications sont parfaites.

L'autre pyromètre est à circulation d'eau. C'est un petit serpentin en forme de canne, dans lequel on fait circuler un courant d'eau froide. L'échauffement de l'eau indique la température du fourneau dans lequel le pyromètre a été introduit. En variant la vitesse de l'eau en circulation on peut mesurer les températures les plus élevées.

Ce pyromètre marche fort bien, et n'offre aucune difficulté d'observation ni de construction. Seulement il demande une installation stable, et ne correspond pas aux besoins du contrôle des températures dans les différents points des carneaux, qui exigent le déplacement continu de l'appareil.

On a donc été forcé d'avoir recours à d'autres instruments.

On a imaginé d'employer des plaques fondantes, et on a fait ainsi un appareil fort ingénieux.

Dans un axe en fer, on a enfilé des rondelles de métal fondant de même épaisseur, correspondant à une gamme de fusion de 150 à 400 degrés, chaque division du cadran correspondant à la fusion d'une rondelle.

Dans un milieu, par exemple, ayant 300 degrés, toutes les rondelles fondent de 150 à 300 degrés, et l'aiguille marque ce point.

Voici la composition de quelques-unes de ces plaques fondantes :

Antimoine pur	450°	3	Etain.	1	Plomb	186°
Zinc pur	433	2	—	1	—	171
Plomb pur.	334	3	—	2	—	169
Bismuth pur	275	1	Bismuth	4	Etain 4 Plomb .	160
Etain pur	235	1	—	3	— 3 — .	155
1 Etain. 2 Plomb	229	1	—	2	— 2 — .	145
5 — 1 —	194	1	—	1	— 1 — .	124
1 — 1 —	193	8	—	3	— 5 — .	94
4 — 1 —	189					

Cet instrument ne peut donner que des indications approximatives, suffisantes comme vérification mais non comme mesure exacte.

§ 3. — Calorimétrie.

Le seul procédé donnant des chiffres à peu près exacts, est celui du calorimètre.

Il consiste à plonger dans le milieu dont on recherche la température une masse métallique. Quand cette masse a bien pris la température ambiante, on la retire rapidement et la laisse tomber dans l'eau. L'élévation du degré thermométrique de l'eau indique celle de la masse, et par conséquent du milieu dans lequel elle était plongée.

Avec un peu d'adresse on arrive très facilement à se servir de cet appareil, qui donne des résultats plus exacts que tout autre.

Le *Calorimètre de Salleron* (fig. 164-165) est un instrument absolument pratique, répondant tout à fait aux besoins industriels, tout en réunissant à ces qualités celles nécessaires à l'exactitude des résultats obtenus.

Il se compose d'un vase cylindrique en cuivre rouge C, ouvert à sa partie supérieure, et renfermé dans une enveloppe de laiton E, à laquelle il est relié par l'intermédiaire d'un disque annulaire en bois d. L'intervalle entre les deux cylindres forme une épaisse couche d'air qui diminue autant que possible la perte de chaleur par rayonnement et conductibilité.

Le tout est fermé par un couvercle en bois également. Ce couvercle est traversé par un thermomètre T, une tige métallique commandant un agitateur a, et présente en son milieu un trou O, par lequel on fera tomber la masse métallique chaude dont on veut prendre la température.

Après de nombreux essais on s'est arrêté, pour la masse métallique, à la prendre en nickel, dont on connaît parfaitement les chaleurs spécifiques et qui n'offre pas de variations comme le fer et le laiton. C'est

Pionchon qui a déterminé ces chaleurs spécifiques. On lui donne la forme d'un cylindre dont la hauteur est double du diamètre et qui pèse 100 grammes.

Pour le porter dans l'enceinte dont on veut prendre la température, on l'enferme dans un manchon en fonte qui lui sert de support et qui est fermé par un étrier mobile. Le manchon, grâce à sa masse, préserve le cylindre du refroidissement quand on le retire d'un endroit à haute température. Il est muni d'un manche qui permet de l'introduire dans l'enceinte chaude. Quand on est certain que le cylindre de nickel et son manchon sont en équilibre de température avec le milieu ambiant, on

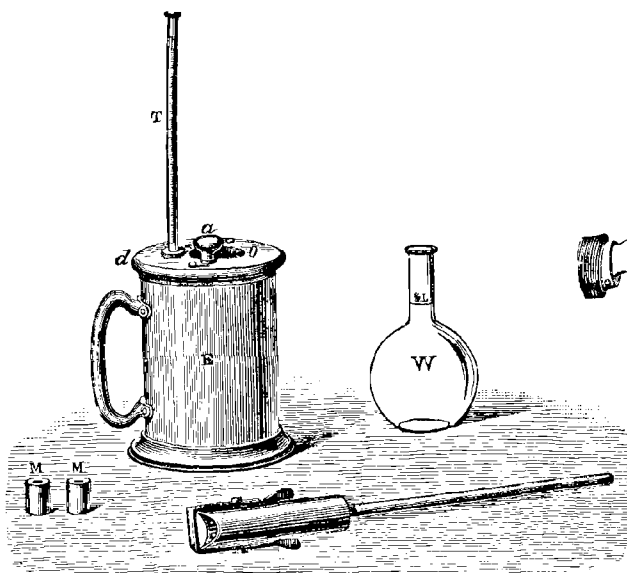


Fig. 164.

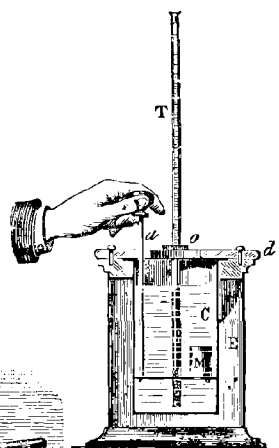


Fig. 165.

retire vivement le tout, on approche le support du calorimètre, on ouvre l'étrier, et le cylindre en nickel tombe dans le calorimètre sur l'agitateur.

Dans le calorimètre on a mis au préalable un demi-litre d'eau au moyen de la carafe graduée W. On en a relevé la température t sur le thermomètre. Celui-ci est gradué en cinquièmes de degrés. Le demi-degré étant facile à évaluer, on a donc la température à moins de $1/10$ de degré près.

Quand le cylindre de nickel est dans l'eau, on fait marcher l'agitateur qui entraîne avec lui le cylindre. Le thermomètre monte, atteint un maximum et redescend ensuite. On note cette température maxima, t' .

$t' - t$ est l'élévation de température de l'eau due à la masse de nickel. On en déduit facilement la température de cette masse par le calcul.

Le tableau ci-dessous permet de ne pas faire de calculs, donnant immédiatement la température cherchée.

Si l'on nomme T la température du bloc de nickel, on trouve :

$t' - t$	T	DIFFÉRENCES	$t' - t$	T	DIFFÉRENCES
1	50		18	676	
2	100	50	19	705	29
3	143	43	20	734	29
4	179	36	21	762	28
5	210	31	22	790	28
6	240	30	23	817	27
7	275	35	24	844	27
8	320	45	25	870	26
9	370	50	26	896	26
10	413	43	27	921	25
11	450	37	28	946	25
12	485	35	29	970	24
13	519	34	30	994	24
14	552	33	31	1017	23
15	585	32	32	1040	23
16	616	31	33	1062	22
17	646	30	34	1084	22
18	676	30	35	1105	21

Si le poids du manchon était différent de 100 grammes, on n'aurait qu'à faire une simple proportion pour obtenir sa température se servant de la table ci-dessus, car on a :

$$\frac{x}{100} = \frac{t' - t}{p} \quad \text{d'où} \quad x = \frac{100 (t' - t)}{p}$$

Pour les températures très élevées, on doit se servir d'un cylindre en platine dont l'étude calorimétrique a été faite par Violle. La table suivante donne la température T du cylindre de platine supposé aussi de 100 grammes.

$t' - t$	T	$t' - t$	T	$t' - t$	T	$t' - t$	T
1	162	6	794	11	1270	16	1685
2	307	7	900	12	1360	17	1768
3	442	8	1000	13	1436	18	1848
4	548	9	1092	14	1529	19	1930
5	682	10	1184	15	1604	20	2010

§ 4. — Tirage de la cheminée.

Il est indispensable de pouvoir faire varier le tirage de la cheminée suivant la direction du vent ou la nature du combustible employé. En conséquence la cheminée devra être plus que suffisante pour le nombre de générateurs employés, et on devra à sa base ménager un registre réglant le tirage moyen nécessaire à tous les feux.

Cependant une cheminée de trop grande proportion pourrait avoir des inconvénients, le réglage ne laissant passer qu'un filet d'air chaud disproportionné avec le diamètre, et occasionner dans la cheminée même des remous d'air froid paralysant le bon effet du tirage. Les cheminées hautes et de faible diamètre sont donc préférables à celles qui sont larges et basses.

Le tirage à la base de la cheminée, avant et après le registre, doit être souvent constaté pendant la marche de l'usine, car ce registre restant généralement réglé pour un temps assez long, peut s'obstruer par les cendres, et le tirage des générateurs s'en ressent d'une manière parfois inexplicable si l'on n'en connaît pas d'avance la cause. L'inspection de la différence de tirage entre ces deux points, différence qui doit être sensiblement constante, indiquera si les carneaux sont obstrués ou non par les cendres.

De même on doit connaître le tirage qui donne le meilleur rendement en vaporisation pour chaque générateur, et par conséquent constater pour chacun si ce tirage type est observé.

Pour constater le tirage des cheminées et carneaux, on se sert d'un petit instrument bien simple. C'est un tube de verre courbé en forme d'U dans lequel on introduit de l'eau. L'une de branches du tube reste ouverte au plein air. L'autre se relie au moyen d'un caoutchouc à un tube en fer pénétrant dans une ouverture pratiquée dans le carneau au point où l'on veut rechercher le tirage.

Le tirage faisant une aspiration de l'extérieur à l'intérieur, les niveaux de l'eau dans les deux branches du tube ne seront plus les mêmes, et la différence indiquera le tirage demandé.

Ordinairement un tirage donnant 6 à 10 millimètres de colonne d'eau, jusqu'à 15 millimètres, procure le meilleur rendement, mais il n'y a pas de règle générale à indiquer, tout étant relatif aux cas spéciaux de chaque usine.

On a cherché à rendre plus sensible ce petit instrument, en remplaçant l'eau par du pétrole, par exemple, et tenant compte de la différence de la densité des liquides 0,835 à 1. La grande difficulté est la vaporisa-

tion rapide du liquide. Mais en ayant des branches assez longues et une échelle mobile on se rend facilement maître de cette petite difficulté.

On peut utiliser aussi le manomètre à tube incliné qui est aussi sensible que l'on veut.

En effet, si l'on suppose (fig. 166) que l'une des branches du tube en U au lieu d'être verticale soit inclinée à 45° par exemple, son extrémité supérieure étant à la hauteur de l'extrémité supérieure de la branche verticale, la longueur de cette branche sera égale à celle de l'autre multipliée par $\sqrt{2}$. En augmentant l'angle d'inclinaison, sa longueur variera pour devenir infinie à l'horizontale. On peut donc lui donner la longueur que l'on veut en variant l'angle d'inclinaison. Si donc l'on trace

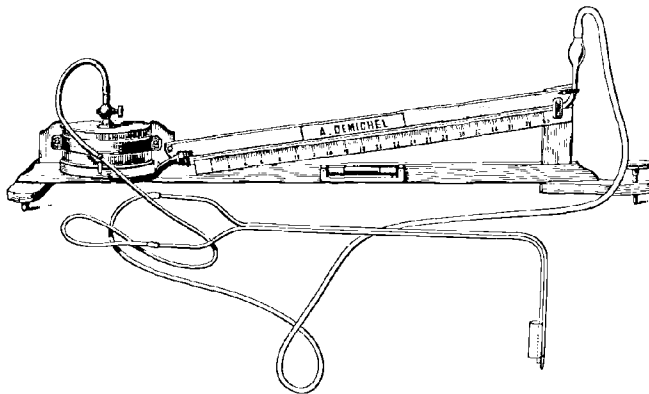


Fig. 166.

sur cette tige inclinée des divisions correspondant à la hauteur de liquide dans la tige verticale, ces divisions seront multipliées par le même coefficient que celui qui représente le rapport entre la branche verticale et la branche inclinée. Ces divisions peuvent donc grandir aussi à l'infini.

Il est donc facile en donnant un angle approprié à cette branche d'obtenir des divisions très grandes, par conséquent très lisibles même avec de l'eau. La seule difficulté est de savoir faire la lecture de ces divisions, le ménisque dans le tube étant incliné d'un angle différent de celui du tube. Il suffira de choisir une fois pour toutes sur quel bord du ménisque on fera la lecture, et on aura ainsi un instrument très simple et très sensible. Il demande cependant à être placé horizontalement.

Pour mesurer le tirage dans les carneaux des générateurs on se sert encore d'un petit appareil fort ancien, décrit par Salleron en 1864 et qui, en 1870, a pris le nom de manomètre différentiel de Kretz.

C'est un tube en U (fig. 167) dont les branches se terminent en haut par deux cuvettes de grand diamètre. On remplit l'appareil avec deux

liquides non miscibles, de densités peu différentes, dont l'un est coloré et l'autre incolore, s'arrangeant de manière à ce que le ménisque de séparation s'arrête à une certaine hauteur dans l'une des branches. Au repos on marque O à ce point de séparation des deux liquides.

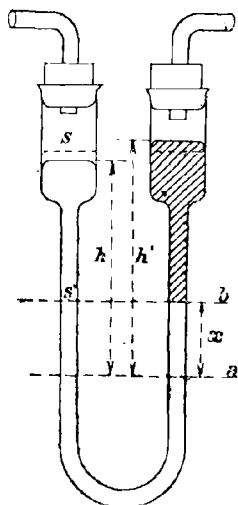


Fig. 167.

On conçoit que si l'on fait monter, par une différence de pression, le liquide dans l'une des cuvettes, il baissera dans l'autre. Mais à cause de la grande différence de diamètre des cuvettes avec le tube en U, le ménisque descendra d'une quantité considérable dans le tube, quantité qui sera proportionnelle à la section de la cuvette et du tube en U.

Si :

S et S' sont les sections de la cuvette et du tube,

h et h' les hauteurs au-dessus du ménisque des deux liquides de densité différente.

d et d' les densités des deux liquides.

Soit :

P la pression atmosphérique ;

p la pression que l'on exerce sur S pour faire monter le ménisque de a en b.

Au repos on a $P + hd = P + h'd'$, les deux pressions se faisant équilibre pour maintenir le ménisque en a.

Si en S on exerce la pression p, l'équilibre est rompu, le ménisque monte en b. Soit $ab = x$.

Mais dans les deux cuvettes dont les sections S sont supposées égales, le liquide descend d'un côté de $\frac{S'}{S}x$ et remonte dans l'autre de la même quantité.

Les pressions égales deviennent donc de part et d'autre à la hauteur b :

$$P + p + hd - dx - \frac{S'}{S}xd = P + h'd' - xd' + \frac{S'}{S}xd'$$

d'où l'on tire :

$$x = \frac{p}{d - d' + \frac{S'}{S}(d + d')}$$

telle est la formule qui permet de graduer cet instrument.

On voit que x est proportionnel à p, mais que cette différence sera

d'autant plus grande que la densité des liquides sera plus petite et que les deux liquides auront une densité plus rapprochée de l'égalité. Car si on avait $d = d'$ la quantité x serait aussi grande que possible pour une valeur déterminée de d .

C'est pourquoi on choisit par exemple l'alcool coloré et le pétrole qui ont des densités à peu près égales.

On trouve dans le commerce beaucoup d'autres instruments multiplicateurs donnant le tirage des cheminées en millimètres d'eau, sous le nom d'*indicateurs de tirage, piézomètres*, etc., dont nous n'avons pas besoin de donner ici la description.

Vitesse des gaz dans les conduites. — On se pose souvent le problème de rechercher la vitesse des gaz dans les carneaux des générateurs ou dans la cheminée, ou encore celle de la vapeur dans les conduites, surtout lorsque ces vitesses doivent être restreintes et que l'on doit les régler.

On se sert pour ces recherches des mêmes instruments-indicateurs que pour la mesure des dépressions dans les cheminées, piézomètres et autres.

La difficulté est alors de combiner l'appareil récepteur de vitesse qui donnera des indications vraies aux piézomètres.

Quand un fluide circule dans un conduit, il y a deux causes qui influent sur la pression intérieure. La première c'est la pression propre du fluide, que l'on appelle la *pression statique*. La seconde provient de la vitesse même du fluide; on la nomme *pression vive*. La somme de ces deux pressions est dite *pression dynamique*.

Si l'on nomme d la densité du gaz par rapport à l'eau, v la vitesse du gaz, e la pression vive, on a :

$$e = d \frac{v^2}{2g}$$

c'est cette pression vive que nous recherchons.

Pour faire les expériences dans un carneau, par exemple, on plonge dans ce carneau un tube généralement en fer qui pénètre jusqu'à une certaine profondeur, en ayant soin de luter le joint de manière à ce qu'il n'y ait point de rentrée d'air tout autour du tube. L'extrémité extérieure du tube est reliée par un caoutchouc avec le piézomètre.

Si l'extrémité du tube placée à l'intérieur du carneau est coupée bien perpendiculairement à l'axe, le tube lui-même étant enfoncé bien perpendiculairement à l'axe du carneau, la vitesse des gaz n'a aucune influence sur la pression qui s'exerce dans le tube, et celle-ci enregistrée

par le piézomètre indique la pression réelle existant dans le carneau, c'est-à-dire la *pression statique*. C'est le cas de tous les manomètres placés sur les conduites de vapeur ou autres.

Mais si l'extrémité du tube dans le carneau est courbée à angle droit, l'ouverture tournée face au courant, la pression exercée dans le tube sera la *pression dynamique*, c'est-à-dire la somme de la pression statique et de la pression due à la force du courant lui-même, c'est-à-dire à la vitesse du courant, soit la pression vive.

Nous aurons donc ainsi, en plongeant dans le même courant deux tubes l'un droit, l'autre courbé, munis chacun d'un piézomètre, la pression statique et la pression dynamique, dont la différence nous donnera la pression vive e que nous cherchons.

Au lieu d'employer deux piézomètres, si nous réunissons les deux branches d'un seul piézomètre à chacun des deux tubes au moyen de caoutchoucs, l'indication que l'on pourra lire sur son échelle sera justement la pression e cherchée. Connaissant e , on en tirera la valeur de v d'après la formule.

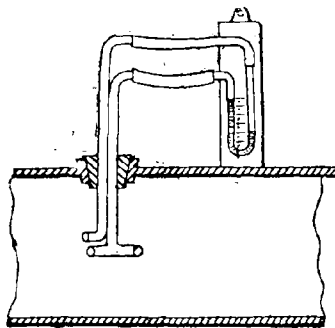


Fig. 468.

On a construit un appareil simple (fig. 468) pour faire cette observation. Il se compose d'un tube droit et d'un tube coudé de même longueur réunis ensemble dans un même bouchon, et reliés au même piézomètre. On a ainsi les indications au même point de la veine gazeuse.

Ces expériences sont dues à Darcy. Mais Ritter y a ajouté une amélioration importante. En effet le tube droit plongeant dans la veine gazeuse peut avoir son extrémité inférieure plus ou moins régulière, ce qui change les indications. On avait songé alors à le terminer par un petit disque bien dressé pour éviter les remous. Mais encore une très légère inclinaison est nuisible à la justesse des observations. Ritter l'a remplacé par un petit tube soudé à l'extrémité et à l'angle droit exactement, formant un petit canal par lequel les veines gazeuses sont

obligées de passer. Cet appareil, dit tube Darcy-Ritter, donne des indications parfaites. La figure 166 nous montre une disposition analogue.

Grâce à ce dispositif, on a pu constater le phénomène que nous signalions dans un autre chapitre, c'est que la vitesse n'est pas la même dans toute la section d'une veine fluide passant dans une conduite, plus grande au centre que sur les bords. Cette diminution de vitesse sur les bords indique la perte de charge due au frottement contre les parois. On peut vérifier aussi de cette manière les pertes de charge provenant des coudes, et le point exact où la vitesse est la plus grande dans chaque endroit d'une veine qui a subi un arrêt par cause de changement de direction ou autre.

§ 5. — Contrôle chimique.

Dans tout contrôle se rapportant à une masse considérable à examiner, le premier point délicat c'est l'échantillonnage.

Pour les gaz de la cheminée ou des carneaux, il faut recueillir un certain volume de gaz représentant sensiblement la moyenne de ce qui a passé dans un laps de temps déterminé.

On procède à cet échantillonnage au moyen d'un aspirateur de 5 à 6 litres de capacité environ qui puise les gaz au moyen d'un tuyau plongeant jusqu'au centre du conduit où ils se trouvent.

Il est très important que ce tuyau soit parfaitement étanche, sinon il peut laisser passer de l'air et fausser les analyses. Aussi certains opérateurs se servent-ils à cet usage de tuyaux en porcelaine, qui peuvent faire un nombre indéfini de prélèvements, tandis que les tubes en métal se rongent, se percent de trous parfois imperceptibles qui sont susceptibles de causer de graves mécomptes.

Des installations de générateurs bien faites doivent comporter un certain nombre d'orifices dans les murailles, par lesquels on introduira le tube échantillonneur. Ces orifices sont gainés et bouchés en temps ordinaires par un tampon en liège, bois ou métal. Ils peuvent être verticaux ou horizontaux suivant les besoins.

L'aspirateur est rempli d'eau saturée de gaz. Si l'on prenait de l'eau ordinaire elle dissoudrait des gaz et fausserait les analyses. Cette saturation est facile; il suffit de prendre une série d'échantillons avec la même eau et les rejeter jusqu'à ce que l'on soit certain, par l'observation, qu'il n'y ait plus absorption.

Le mieux est de se servir de glycérine à 10° Baumé qui ne dissout sensiblement pas les gaz de la combustion.

Pour la commodité de l'opération on se sert de deux vases superposés

de même capacité, chacun de 5 à 6 litres, dont l'un est plein de liquide et l'autre est vide. Une série de robinets permet, pendant l'aspiration, de laisser couler le liquide que contient le vase du haut, qui s'emplit de gaz, dans celui du dessous qui est vide. Pour procéder ensuite à l'analyse, on retourne le système, le vase du haut se trouvant en dessous ; le liquide de l'autre le remplit alors, chassant les gaz échantillonnés dans l'appareil d'analyse.

L'échantillonnage doit durer un certain temps. A cet effet on ouvre le robinet de liquide de la quantité nécessaire pour que le vase du dessus se vide pendant le temps voulu. En général on recueille les gaz de la combustion entre deux charges consécutives de charbon dans le foyer. On prend parfois un laps de temps plus long pour connaître l'importance des rentrées d'air pendant les charges.

Il faut avoir soin, au moment du prélèvement de l'échantillon, de purger d'air tout l'appareil, les tubes ayant une capacité suffisante pour fausser complètement l'analyse ; on fera donc un ou deux prélèvements rapides et complets avant de recueillir l'échantillon définitif.

Le point principal où l'on devra prendre la preuve, c'est immédiatement à l'entrée du dernier carneau du générateur dans le canal général de fumée, avant le registre. Il faut, avant tout, s'assurer s'il n'y a pas de rentrées d'air par des fissures de la maçonnerie et luter avec de la terre glaise les glissières du registre et toutes les ouvertures où l'air pourrait pénétrer irrégulièrement.

APPAREIL ORSAT (fig. 169).

L'analyse se fait au moyen de l'appareil Orsat, dans lequel on dose l'acide carbonique, l'oxygène et l'oxyde de carbone du gaz, et la différence donne l'azote. Ces gaz sont déterminés humides. Connaissant la quantité de vapeur qui peut saturer le gaz à la température de l'expérience et à la pression barométrique du jour, on en déduit la quantité de gaz sec, comme nous le verrons plus loin.

L'appareil Orsat, ou ses imitations, se compose d'une éprouvette graduée dans laquelle on prend un volume déterminé du gaz à analyser, puis de trois vases d'absorption en verre contenant de la potasse pour absorber l'acide carbonique, de l'acide pyrogallique pour l'oxygène, et du chlorure de cuivre pour l'oxyde de carbone.

Ces liquides sont préparés de la manière suivante :

Potasse. — Dissoudre 70 grammes de potasse caustique dans 80 grammes d'eau distillée.

Acide Pyrogallique. — 15 grammes d'acide pyrogallique sont dissous dans 10 grammes d'eau chaude distillée, y ajouter dans le vase d'absorption même, pour éviter le contact de l'air, une solution de 70 grammes de potasse caustique dans 70 grammes d'eau distillée.

Chlorure de cuivre. — Dissoudre 28 grammes de chlorure de cuivre en poudre très fine dans 80 grammes d'acide chlorhydrique pur de 1,17 de densité, y ajouter 17 grammes d'eau distillée.

La partie supérieure du vase d'absorption rempli de chlorure de cuivre doit contenir du cuivre métallique, toile ou baguettes, pour décomposer les produits d'oxydation formés par le chlorure en présence de l'oxygène et de l'acide chlorhydrique.

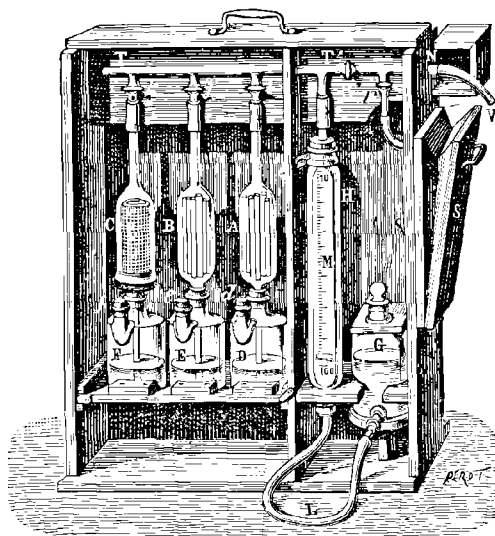


Fig. 169.

L'éprouvette pour mesurer les gaz est remplie de glycérine ou d'eau acidulée par l'acide chlorhydrique, qui l'empêche de dissoudre l'acide carbonique.

L'appareil est ainsi constitué :

M est l'éprouvette graduée dans laquelle on mesure les gaz. Elle est enfermée dans un manchon de verre à circulation d'eau pour que la température demeure constante.

Son extrémité inférieure est reliée au moyen d'un long tuyau en caoutchouc avec un flacon mobile G contenant de l'eau acidulée. Quand ce

flacon repose sur sa planchette en bas, le niveau du liquide dans l'éprouvette doit être au point 100, c'est plus commode. On conçoit qu'en soulevant le flacon G, l'eau acidulée monte en même temps dans l'éprouvette jusqu'à la remplir complètement. Ceci fixe la capacité que doit avoir le flacon G.

L'extrémité supérieure de l'éprouvette M est reliée à un tube en verre horizontal résistant mais de très petit diamètre intérieur TT'. Ce tube porte en outre un robinet R, puis trois tubulures à robinet *i j k*. Ces trois robinets sont reliés par des tubes en caoutchouc à des pipettes en verre ABC que l'on nomme parfois *laboratoires*, et dont le prolongement tubulaire s'enfonce dans trois flacons DEF à deux tubulures. Toutes les ouvertures sont hermétiquement closes.

Le flacon D contient de la potasse, le flacon E l'acide pyrogallique, le flacon F le chlorure de cuivre. Les laboratoires correspondants contiennent : A et B des baguettes de verre pour augmenter les surfaces du contact des gaz avec les réactifs, et C des baguettes de cuivre ou de la toile de cuivre, comme nous l'expliquions plus haut.

Il faut maintenant préparer l'appareil pour l'expérience ; à cet effet il faut remplir tous les laboratoires avec les liquides contenus dans leurs flacons respectifs. Ceci se fait facilement de la manière suivante :

Emplissons par exemple le laboratoire C. Pour cela on remplit d'eau acidulée le mesureur M, en ouvrant le robinet R et soulevant le flacon G. Puis on ouvre le bouchon *f*, le robinet *k* (le robinet R étant fermé) et on abaisse le flacon G. Alors M se vide, mais le liquide de F monte dans C par aspiration. On emplit C jusqu'au robinet *k*, et, quand le liquide arrive juste au robinet, on ferme *k*.

On fait de même pour les deux autres, et l'appareil est prêt à fonctionner.

Ceci fait on remplit une dernière fois le mesureur M avec de l'eau acidulée et on ferme R.

Le tube TT' se prolonge au delà de R et reçoit un tube en caoutchouc NV que l'on met en communication avec l'espace contenant le gaz à analyser.

Deux cas peuvent se présenter ; ou le gaz est sans pression, ou il est sous pression.

Dans le premier cas on opère ainsi. Entre R et N le tube porte encore une tubulure à robinet *r* communiquant avec un soufflet S. On ouvre *r* et l'on fait agir le soufflet. Celui-ci aspire par le tube en caoutchouc le gaz à analyser qui remplit tout le tube. Cette opération a pour but de chasser tout l'air de la tuyauterie et d'être bien certain que l'on ne recevra dans le mesureur que le gaz à analyser.

Dans le second cas, si le gaz est sous pression, il suffit d'ouvrir *r* et le gaz purge de lui-même la tuyauterie; on ferme alors *r* définitivement. L'appareil est dès lors absolument prêt à travailler.

On commence donc par emplir de gaz à analyser le mesureur M. A cet effet, après avoir vérifié que tous les robinets sont bien fermés, tous les bouchons bien assujettis, M étant plein d'eau jusqu'en T', et le flacon G étant en bas, on ouvre R. L'eau descend en G et le mesureur s'emplit du gaz à analyser. On vérifie bien qu'il y en ait jusqu'au point 100, et on ferme R.

On procède alors à l'analyse en commençant par absorber l'acide carbonique. Pour cela on ouvre le robinet *z*. Puis, prenant à la main le flacon G, on fait passer le gaz de M en A. Le liquide alcalin qui était en A descend en D. Mais l'acide carbonique du gaz se combine avec la potasse qui mouille les baguettes et les parois de A. Il y a absorption de gaz. Et en effet quand on ramène en arrière le flacon G, on remarque que A est rempli bien avant que le niveau du liquide dans M soit au point 100. Il faut donc faire attention de ne pas faire monter la potasse plus haut que *z*. On recommence plusieurs fois l'opération pour s'assurer que l'absorption est complète. Puis, la dernière fois, lorsqu'on a fait remonter la potasse jusqu'au robinet, on le ferme.

On lit alors dans le mesureur la division correspondante, en soulevant le flacon G de manière à ce que le niveau du liquide en M et en G soit sur le même plan. Comme on avait 100 de gaz, si on lit 86 sur le mesureur, c'est que l'on avait 14 d'acide carbonique qui ont été absorbés. Le gaz contenait donc 14 % de CO².

On recommence de même avec le flacon suivant, B qui absorbe l'oxygène, puis avec le dernier C qui absorbe l'oxyde de carbone. Après quoi on fait une dernière lecture sur le mesureur. Cette lecture donne la quantité de gaz non absorbée, et l'on admet qu'elle représente de l'azote.

Il faut faire bien attention de ne pas commencer l'examen de l'oxygène avant d'être bien certain que tout l'acide carbonique ait été absorbé, attendu que s'il restait de l'acide carbonique dans le gaz, le réactif suivant le compterait comme oxygène, et l'analyse serait fautive. De même ne passer à l'oxyde de carbone que quand tout l'oxygène est bien absorbé, et pour la même raison.

Cette analyse nous donne le volume du gaz à la pression et à la température du lieu. La correction est inutile, car on cherche dans ce cas un rapport de volume, et ce rapport est constant quelles que soient les pressions et les températures originelles.

Cependant il est une correction qu'il est utile de faire. Les gaz étant

recueillis sur l'eau se chargent eux-mêmes d'humidité, et quand on mesure 100 de gaz, on n'a pas le volume réel du gaz saturé d'eau. En sorte que le résidu que l'on admet être l'azote, est en définitive de l'azote additionné de l'eau de saturation du gaz restant. Cette eau de saturation est variable avec la pression barométrique et surtout avec la température du gaz.

Il est donc important dans certains cas de faire la correction pour obtenir le gaz sec, si par exemple au moyen des nombres trouvés on veut se rendre compte de la manière dont s'est conduite la combustion. En effet 100 volumes de gaz humide à 21°C par exemple, représentent 97,565 volumes de gaz sec. On a donc fait une erreur dans l'analyse sur l'azote d'une quantité que nous allons examiner, en nous servant des lois les plus simples possible pour ne pas compliquer le problème. De plus nous ferons remarquer que la pression barométrique faisant varier très peu le volume des gaz dans ces expériences, eu égard à l'écart de température, on se contente généralement de faire le calcul comme si l'on était à la pression moyenne de 760.

Ceci admis, on sait que, d'après la loi de Dalton, dans un mélange de deux fluides gazeux, la pression exercée par chacun d'eux est la même que s'il était seul. Si donc dans notre cas nous voulons connaître la pression subie par le gaz dans le mélange de gaz et de vapeur, il faut soustraire, de la hauteur barométrique observée, la pression exercée par la tension de la vapeur d'eau à la température de l'expérience. De plus, d'après la loi de Mariotte, les volumes des gaz sont inversement proportionnels aux pressions auxquelles ils sont soumis. Nous aurons donc le volume du gaz sec dans un gaz humide au moyen de la formule

$$v' = v \frac{h - f}{h}$$

dans laquelle :

v = le volume du gaz humide ;

v' = — — — sec ;

h = la hauteur barométrique ;

f = la tension de la vapeur d'eau.

Si dans cette formule on prend $h = 760$, les tables de Regnault donnent $f = 18,495$ et l'on a pour $v = 100$:

$$v' = \frac{100(760 - 18,495)}{760} = 97,565$$

Si donc une analyse de gaz humide nous donne :

Acide carbonique.	11,25
Oxygène	8,25
Azote (par différence)	80,50
	100,00

en faisant la correction sur l'acide carbonique et l'oxygène et ramenant le volume à 100 nous aurons :

Acide carbonique.	11,53
Oxygène	8,45
Azote (par différence)	80,02
	100,00

Telle serait la composition du gaz sec pour 100 volumes, différant quelque peu du précédent, surtout en ce qui concerne l'azote.

Pour faciliter ces calculs, Kazalowsky a dressé la table suivante qui donne les volumes des gaz secs correspondant à 100 de gaz humide à différentes températures, tableau calculé d'après la formule établie précédemment, et à la pression de 760 millimètres.

Table de Kazalowsky

TEMPÉRATURE en degrés centigrades	TENSION en millimètres de mercure (Regnault)	VOLUME corrige	TEMPÉRATURE en degrés centigrades	TENSION en millimètres de mercure (Regnault)	VOLUME corrige
0	4.600	99.395	16	13.536	98.218
1	4.940	99.350	17	14.421	98.102
2	5.302	99.302	18	15.357	97.979
3	5.687	99.251	19	16.346	97.847
4	6.097	99.198	20	17.391	97.712
5	6.534	99.141	21	18.495	97.565
6	6.998	99.079	22	19.659	97.403
7	7.492	99.014	23	20.888	97.251
8	8.017	98.945	24	22.184	97.081
9	8.574	98.872	25	23.550	96.802
10	9.165	98.798	26	24.988	96.712
11	9.792	98.711	27	26.505	96.512
12	10.457	98.623	28	28.101	96.301
13	11.162	98.530	29	29.782	96.082
14	11.908	98.433	30	31.548	95.849
15	12.699	98.329	31	33.406	95.604

Quelle utilité peut avoir cette correction? Il est évident qu'elle n'en a aucune si l'on se contente de vouloir connaître approximativement la composition des gaz qui doivent s'approcher de 12 volumes d'acide carbonique, avec le moins d'oxyde de carbone possible, constatation presque toujours suffisante.

Mais si l'on veut aller plus loin, si au moyen de l'azote trouvé on veut se rendre compte de la combustion dans les foyers, on fera la remarque suivante :

L'air est composé de :

21,33	volumes d'oxygène
78,67	— d'azote.
100,00	

Dans l'exemple précédent nous avons 11,53 d'acide carbonique qui contient son volume d'oxygène, donc nous trouvons :

19,98	volumes d'oxygène
80,02	— d'azote
100,00	

Donc nous avons plus d'azote et moins d'oxygène que n'en comporte la composition de l'air qui a servi à la combustion. Si le chiffre de l'azote est exact, c'est que de l'oxygène a disparu. Et en effet cet oxygène qui manque a servi à brûler les hydrocarbures qui ont fourni de l'acide carbonique et de l'eau. C'est donc l'eau qui manque à notre analyse.

80,02 d'azote correspondant à 21,69 d'oxygène, donc nous avons eu :

8,45	d'oxygène non employé
1,71	— qui ont formé de l'eau
11,53	— — de l'acide carbonique
21,69	

Ce qui fait que 100 volumes de gaz des générateurs devaient contenir :

3,30	volumes d'eau en vapeur
11,15	— d'acide carbonique
8,17	— d'oxygène
77,38	— d'azote
100,00	

Le problème ordinaire que l'on se pose quand on analyse les gaz des générateurs est de savoir si l'air envoyé sous les grilles a été bien utilisé, si l'on n'envoie pas trop d'air, et dans quelles proportions l'excès d'air a passé inutilement à travers le charbon ou les portes et les fentes dans la maçonnerie.

Si nous reprenons notre analyse de gaz sec, nous trouvons, sur 100 volumes, 8,45 d'oxygène inutilisés. Comme 21,33 volumes d'oxygène correspondent à 100 volumes d'air, nos 8,45 d'oxygène représentent donc

39,6 volumes d'air. Donc comme nos 80,02 d'azote total représentent (80,02 + 21,69) = 101,71 d'air total employé, on a introduit $\frac{39,6}{101,71} = 38,93\%$ d'air de plus qu'il n'en faut pour la combustion.

Pour simplifier nos raisonnements, nous avons envisagé l'analyse d'un gaz de combustion ne contenant pas d'oxyde de carbone.

Mais si nous avons une analyse donnant, par exemple :

Acide carbonique	16,50
Oxygène	1,75
Oxyde de carbone	0,50
Azote (par différence)	81,25
	100,00

En supposant cette analyse faite à 22°,5, corrigeant de même manière que précédemment pour avoir 100 volumes de gaz sec à 760, on trouverait.

Acide carbonique	16,95
Oxygène	1,80
Oxyde de carbone	0,51
Azote (par différence)	80,74
	100,00

Ici nous devons tenir compte de l'oxyde de carbone pour évaluer la quantité d'air en excès. En effet nous avons vu que l'oxyde de carbone provient de la dissociation de l'acide carbonique. Donc, de l'oxygène libre, nous devons retrancher celui qui devrait être combiné à l'oxyde de carbone, et la différence représente l'oxygène de l'air en excès. A 1 volume d'oxyde de carbone il faut ajouter 1/2 volume d'oxygène pour former 1 volume d'acide carbonique. Donc si la combustion avait été faite convenablement, sans dissociation, nous aurions eu dans le gaz $1,80 - \frac{0,51}{2}$ égale 1,545 d'oxygène provenant de l'air en excès. En raisonnant comme précédemment on trouverait 7 % d'air en excès.

Remarquons que la différence entre l'air trouvé comme excès dans la combustion, dans les gaz secs ou humides, est relativement très faible. Il est donc inutile de faire, dans les analyses courantes, le calcul des gaz à l'état sec pour trouver l'air en excès, surtout si l'on considère que l'échantillonnage du gaz est sujet à des erreurs d'un ordre infiniment plus grand que celle de l'humidité. Nous n'avons fait ce calcul que pour indiquer ce qu'il y pourrait être utile dans des cas où l'on rechercherait un peu plus d'exactitude.

Enfin nous terminerons ces recommandations en faisant remarquer

que les analyses de gaz doivent être faites avec beaucoup de soins, tant au point de vue de l'échantillonnage qu'à celui de l'appareil Orsat. En effet, c'est d'après ces analyses que l'on doit régler la marche des générateurs. Si les analyses sont fausses, on peut en déduire un réglage désastreux pour la marche de l'usine et la quantité de charbon brûlée.

Il faut donc apporter beaucoup de soins à ces opérations, et ne pas se fier à une seule analyse pour changer le régime des générateurs, mais ne changer ce régime que si une série d'analyses accusent toutes le même défaut.

Nous venons de voir deux analyses, l'une accusant 39 % d'air en excès, l'autre 7 %. Quel est le générateur qui a le mieux fonctionné ?

La réponse est impossible *a priori*. Il peut se faire que les deux aient marché correctement. Pour s'en assurer il faut d'abord voir la température des gaz dans la cheminée. Elles peuvent être égales et convenables dans les deux cas. C'est donc du combustible d'abord que dépend l'admission d'air. Car ce que l'on recherche c'est une combustion complète, sans fumée emportant dans la cheminée des quantités de carbone ou d'hydrocarbure non brûlé. C'est aussi de la forme de la grille, comme nous le disions précédemment.

Il ne faut donc pas rechercher le minimum d'air, il faut s'assurer de la quantité d'air convenable pour les générateurs que l'on dirige, et alors s'en tenir à cette quantité.

La combustion de 1 kilogramme de houille exige théoriquement et en moyenne 8 à 9 mètres cubes d'air. En général on admet 20 à 33 % d'air en excès.

Si la houille grasse réclame 8,75 mètres cubes d'air, certaines houilles sèches n'en demandent que 7,4, et même 7 mètres cubes pour des houilles de deuxième qualité. Les lignites ne demandent que 5 mètres cubes, et le bois sec 4,6. Ceci prouve que l'ouverture des registres ne peut être

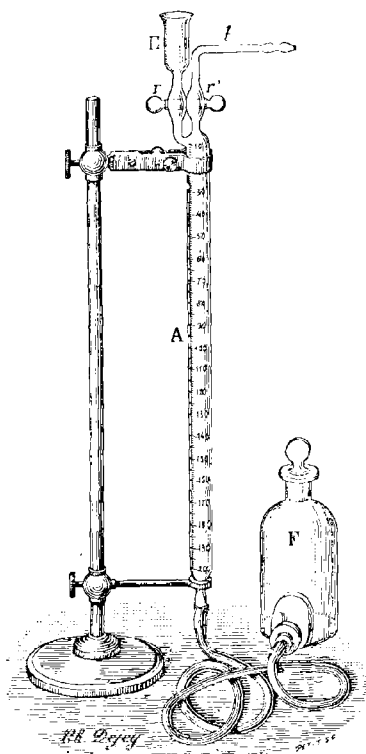


Fig. 170.

en tous les cas la même, que la combustion est absolument différente suivant les combustibles, et que des règles absolues ne peuvent être formulées pour la conduite des générateurs.

Villot a construit une burette (fig. 170) destinée à remplacer l'appareil Orsat. Cette burette graduée, A, portant à sa partie supérieure deux ajutages à robinet, l'un *r'* se prolonge par un bout de tube coudé *t* pouvant recevoir un tube en caoutchouc, l'autre *r* se termine par un entonnoir E. L'extrémité inférieure de la burette est reliée par un long tube en caoutchouc avec un flacon F à tubulure inférieure. Le 0 de l'instrument est au niveau des robinets *r* et *r'*.

On met de l'eau pure, ou plutôt aiguisée avec de l'acide chlorhydrique pour qu'elle dissolve moins les gaz, dans le flacon F.

En soulevant le flacon après avoir ouvert les deux robinets *r* et *r'*, on remplit la burette d'eau. On ferme alors les deux robinets, et on ajuste sur le tube *t* le tuyau de caoutchouc par lequel doit arriver le gaz à analyser, lequel tuyau doit être bien purgé d'air. On ouvre alors le robinet *r'* et la burette s'emplit de gaz. On en prend un volume quelconque, et on lit la division de la burette en affleurant l'eau dans la burette avec celle du flacon F, et ouvrant au besoin un peu le robinet *r'* pour avoir la pression atmosphérique dans le tube.

Pour procéder à l'analyse, on emplit l'entonnoir E avec de la potasse, puis on ouvre tout doucement le robinet *r*. La potasse s'écoule, et dissout instantanément l'acide carbonique. Pour s'assurer que la dissolution est complète, on détache la burette de son support, et l'on agite, le tube en caoutchouc AF étant assez long pour ne pas gêner l'opération. On affleure le niveau de l'eau dans la burette avec celui du vase F, et l'on note la différence de volume.

Ensuite on met dans l'entonnoir le pyrogallate de potasse. On recommence comme ci-dessus pour avoir l'oxygène. Pour être certain d'avoir tout enlevé on verse une seconde dose de pyrogallate de potasse. Tous ces réactifs se dissolvent dans l'eau du flacon.

Enfin dans l'entonnoir on verse du protochlorure de cuivre ammoniacal, on fait encore la même opération que ci-dessus, et on a l'oxyde de carbone. On ajoute deux fois du protochlorure pour être certain de l'absorption de l'oxyde de carbone, en ayant soin de bien agiter.

On voit qu'avec cet appareil on peut faire les mêmes analyses qu'avec l'appareil Orsat. Il faut avoir soin, après une analyse de gaz, de bien laver l'appareil avant d'en recommencer une autre et de changer à chaque fois l'eau du flacon.

Cet appareil est construit par *Démichel*.

Les gaz de combustion de la houille, outre l'acide carbonique, l'oxyde

de carbone, l'oxygène et l'azote, contiennent aussi des hydrocarbures. On a parfois intérêt à les doser, surtout, par exemple, dans les gaz de gazogène des fours à chaux.

Léo Vignon a modifié l'appareil Orsat pour faire cette analyse (fig. 171). A la suite des cloches d'absorption il a mis un eudiomètre dans lequel on introduit le gaz débarrassé des éléments dosés dans les trois cloches précédentes. Dans cet eudiomètre on fait passer en outre de l'oxygène,

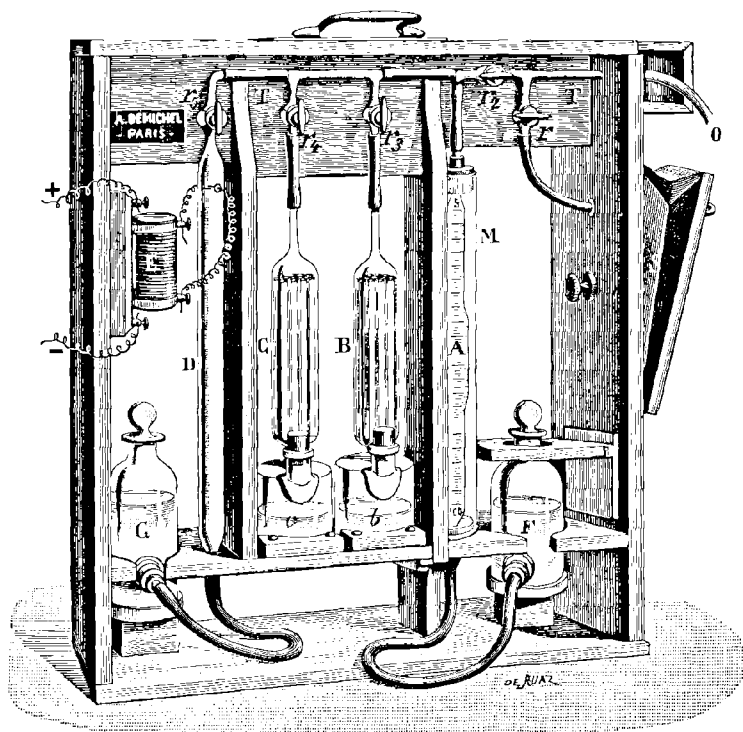


Fig. 171.

et au besoin un mélange d'oxygène et d'hydrogène ($H^* + O$) pour faciliter la détonation. Une petite bobine est adjointe à l'appareil.

La série d'opérations à faire est la suivante :

1° Détermination des espaces nuisibles, rampe à robinets et tubulures ; cette détermination se fait en mettant de l'air dans le mesureur et absorbant l'oxygène de tout le système. On trouvera dans le mesureur plus d'azote que ne comporte l'air y introduit. La différence donnera le volume d'air contenu dans les espaces nuisibles ;

2° Analyse des gaz comme dans l'appareil Orsat ;

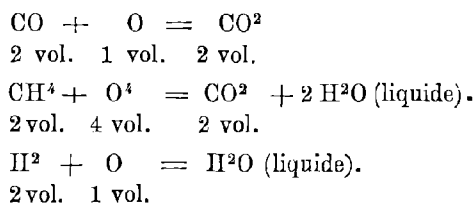
3° Introduction de l'oxygène. On commence par ramener ce qui reste des gaz dans le mesureur. On en expulse une partie s'il est nécessaire, de manière à laisser assez de place pour que, en aspirant de l'oxygène, le rapport des gaz et de l'oxygène fasse un mélange détonant, soit environ 30 volumes d'oxygène pour 100 volumes de gaz si ceux-ci sont pauvres. De plus il faut aussi laisser la place pour ajouter le mélange de (H² + O) 30 %.

L'oxygène et le mélange (H² + O) sont introduits par aspiration comme on le fait pour le gaz à analyser. Ils ont été au préalable analysés dans l'appareil pour en bien connaître la composition ;

4° Passage du mélange dans l'eudiomètre. Ce passage se fait au moyen d'un autre flacon semblable à celui qui est près du mesureur dans l'appareil Orsat, mais qui est plein de mercure, et qui est relié par un tube en caoutchouc résistant à la base de l'eudiomètre. On fait passer plusieurs fois de suite le gaz du mesureur dans l'eudiomètre et réciproquement, pour opérer le mélange ;

5° Détonation. On fait plusieurs détonations successives, pour ne pas avoir une détonation trop forte. On prend donc le gaz par portions dans l'eudiomètre et on fait une première détonation ; puis une seconde sur une autre portion, jusqu'à ce qu'on ait bien balayé tous les espaces nuisibles. Toutes ces détonations doivent être faites en laissant baissé le flacon à mercure de manière à détendre les gaz au moment de l'explosion, la détonation est ainsi moins forte ;

6° Calculs. Suivant la nature des gaz analysés on tient compte de ce que :



On tient compte aussi des espaces nuisibles qui contenaient des gaz à analyser et on calcule d'après la contraction observée à l'eudiomètre la quantité de gaz disparue. Ce calcul, sans être difficile est assez long. On obtient ainsi tous les gaz, et en faisant varier la quantité de détonant et d'oxygène on arrive même à déterminer le rapport entre les éléments H et CH⁴ contenus dans les gaz.

Cet appareil, comme l'appareil Orsat, est construit par Demichel.

De Ridder a composé toute une installation pour faire l'échantillonnage et l'analyse des gaz de combustion des générateurs.

Son aspirateur est un petit gazomètre d'une douzaine de litres, composé d'un seau plein d'eau dans lequel plonge une cloche équilibrée par un contrepoids. Cette cloche porte à sa partie supérieure une ouverture qui est reliée par un tube flexible avec le tuyau d'aspiration dans les carneaux des générateurs. Entre la cloche et le tuyau se trouve une petite bouteille en verre à moitié pleine d'eau dans laquelle plonge le tuyau de gaz avant de se rendre dans la cloche. Il en résulte que le gaz barbote dans l'eau avant d'aller dans le gazomètre, et que l'on peut voir l'importance de ce barbotage et régler l'aspiration de manière à ce que le gaz n'arrive que bulle à bulle. Pour provoquer l'aspiration on n'a qu'à charger le contrepoids de la quantité nécessaire pour obtenir l'emplissage de la cloche en un temps déterminé qui est généralement 12 heures. Au-dessus de la petite bouteille est un robinet qui sert à parfaire le réglage de l'aspiration.

On prélève donc ainsi un échantillon correspondant au travail de tout un poste de chauffeurs.

Quand on veut analyser le gaz, il suffit de fermer le petit robinet au-dessus de la petite bouteille, de soulager le contrepoids, d'ouvrir un autre robinet qui se trouve sur la cloche, et qui se termine par un caoutchouc correspondant avec l'appareil d'analyse.

L'aspirateur de Ridder contient à l'intérieur de la cloche un flotteur qui en a presque le diamètre, et qui empêche le contact du gaz avec l'eau. On diminue ainsi considérablement les chances de solubilité du gaz dans l'eau.

De plus l'aspiration dans le carneau se fait au moyen d'un tube en fer percé de trous. Au-dessus du tube, à la sortie du carneau, se trouve un petit appareil composé d'un tube en verre assez large, rempli de laine de verre. Cette disposition est destinée à arrêter la suie qui pourrait obstruer les tuyaux. Dans l'intérieur de ce manchon de verre se trouve en outre un petit flacon dans lequel plonge le tuyau d'aspiration, et qui est rempli de chlorure de calcium fondu pour dessécher le gaz aspiré. C'est donc du gaz sec qui se rend dans la cloche.

L'appareil qui sert à faire l'analyse du gaz peut être l'appareil Orsat. Mais de Ridder emploie l'appareil Hempel. Il se compose de deux burettes, dont l'une graduée, reliées entre elles par un tube en caoutchouc. La burette graduée sert à mesurer le gaz, l'autre est pleine d'eau, et en l'élevant à une certaine hauteur au-dessus de la première on emplit celle-ci d'eau jusqu'en haut où se trouve un robinet. Si ce robinet correspond avec l'aspirateur, en ouvrant le robinet et rabaisant la burette à eau, on emplit de gaz à analyser la burette graduée. C'est la manœuvre déjà décrite pour l'appareil Orsat.

Lorsqu'on a l'échantillon de gaz, on attache à l'éprouvette une ampoule de forme spéciale remplie de potasse à 36° Baumé. On y fait passer le gaz à analyser par le mouvement de la burette à eau. La potasse est chassée dans un réservoir qui surmonte l'ampoule. L'acide carbonique s'absorbe. On ramène la potasse à sa position primitive, et on lit sur la burette la quantité de CO² que contenait le gaz.

On recommence ensuite avec une autre ampoule analogue pour l'O, puis avec une autre pour le CO.

C'est donc un petit appareil Orsat dont les éléments sont séparés au lieu d'être réunis sur un même support. On vante beaucoup cet appareil, mais nous ne voyons pas sa supériorité sur les autres.

§ 6. — Batteries scindées.

On a beaucoup préconisé l'emploi de deux batteries de générateurs en sucrerie, l'une à haute pression et l'autre à basse pression. La première servirait à l'alimentation des machines, l'autre à la cuite et aux chauffages.

Nous croyons que cette disposition peut être utile dans certains cas et absolument inutile dans d'autres.

Elle est utile dans les usines montées à triple-effet ordinaire par les vieux procédés, avec des machines presque sans détente, consommant 40 kilogrammes de vapeur et plus par cheval-heure, machines qui se multiplient tellement dans nos sucreries depuis l'invention des pompes à moteur direct qui consomment 44 kilogrammes au moins de vapeur comme Schmidt l'a constaté.

Toutes ces machines fournissent une telle quantité de vapeur de retour que l'on est très souvent obligé d'en perdre sur le toit, ce qui représente une perte sèche considérable.

Dans les usines, si les générateurs fournissaient de la vapeur à 6 kilogrammes au lieu de 4, pour produire la même force motrice il en faudrait sensiblement $\frac{4}{6} = 0,66$, soit 66 kilogrammes de vapeur au lieu de 100, soit économie d'un tiers, et dans ce cas, on n'échapperait plus de vapeur dehors.

D'autre part, avec le montage antique dont nous parlons, et qui existe encore dans un très grand nombre de nos sucreries, toutes les fois que l'on met une cuite en route, on fait baisser la pression aux générateurs, d'où perturbation dans tout le travail, et obligation aux chauffeurs de forcer momentanément leurs feux, d'ouvrir leurs registres pour forcer le tirage, en définitive, seconde perte sèche de charbon. C'est pourquoi

l'on a vu fréquemment des sucreries brûler 200 kilogrammes de charbon par tonne de betteraves.

Il est évident que, dans ce cas, si l'on avait des générateurs spéciaux pour la cuite et les chauffages, s'il y a perturbation ce ne sera que sur la moitié de la production de vapeur, d'où perte moitié moindre.

La division de la batterie en deux tronçons proportionnels à la quantité de vapeur à fournir est donc une excellente chose dans ce cas, la première marchant à haute pression pour consommer moins de vapeur dans les machines.

A quelle pression devra marcher la seconde batterie? C'est là que les auteurs ne sont pas d'accord.

Les uns prétendent que ces générateurs doivent marcher à très basse pression, 3 kilogrammes par exemple; et ils partent de ce faux principe que la vapeur à 5 kilogrammes, ramenée à 3 kilogrammes dans les serpentins de la cuite, se condense partiellement parce qu'elle se détend, d'où perte de vapeur. C'est une erreur profonde. Ceux qui ont dit (et même écrit) de pareilles choses confondent deux phénomènes distincts sur lesquels nous nous sommes étendus dans la théorie de l'évaporation. Dans ce cas, il y a détente sans production de travail extérieur, donc surchauffage de la vapeur, et non refroidissement; donc, il n'y a pas de perte de calories de ce fait. Il n'y a perte de calories et condensation que lorsqu'il y a détente avec production de travail extérieur, comme dans les machines à vapeur.

Il n'y a donc pas de raison plausible de ce fait d'avoir des générateurs à 3 kilogrammes plutôt que 5. Gagne-t-on quelque chose à avoir 3 kilogrammes au lieu de 5? Théoriquement oui, car la vapeur à 5 kilogrammes contient 653 calories, tandis qu'à 3 kilogrammes elle n'en renferme que 647, soit 8 calories par kilogramme de vapeur, ce qui fait environ 1,2 %. Donc, il faut brûler 1,2 % de plus de charbon pour faire monter la pression de 3 à 5. Pratiquement 1 à 2 % de charbon de plus ou de moins est impossible à voir, à cause de l'inconstance des feux en sucrerie, surtout dans la batterie chargée d'alimenter la cuite.

Or, à notre avis, c'est une faute d'avoir une trop basse pression, et voici pourquoi.

Un générateur de vapeur à grand volume d'eau, comme sont les chaudières semi-tubulaires ou à bouilleurs, est un réservoir de vapeur emmagasinée dans l'eau; car, si l'on marche à 5 kilogrammes et que l'on prenne subitement de la vapeur en suffisante quantité pour abaisser la pression à 3, chaque kilogramme d'eau contenu dans la chaudière abandonnera immédiatement 8 calories, et l'on aura une surproduction immédiate de vapeur qui sert de *volant* dans le travail. Or, justement,

dans le cas présent, si l'on met une cuite en route, on abaisse soudainement la pression, et si l'on n'a pas de volant, on se trouve bientôt n'avoir plus assez de vapeur pour travailler. Pour se rattraper de 3 à 5 kilogrammes, il suffit de quelques pelletées de charbon, surtout quand le chauffeur est prévenu, tandis que pour fournir constamment 3 kilogrammes selon la consommation irrégulière de l'usine, on doit forcer les feux à certains moments et les couvrir à d'autres. Nous croyons donc, dans ce cas spécial, qu'il vaut mieux avoir 5 kilogrammes que 3 dans la seconde batterie de générateurs.

De plus, 1 kilogramme de vapeur à 5 occupe un volume de 362 mètres cubes tandis qu'à 3 son volume est de 586. La quantité de vapeur emmagasinée au-dessus de l'eau dans les chaudières est donc une fois et deux tiers plus grande environ avec haute que basse pression, ce qui est encore un petit volant de vapeur qui n'est pas négligeable. Enfin, la section des tuyaux avec la basse pression doit être dans le rapport des volumes, ce qui exige une bien plus grosse tuyauterie avec les générateurs à 3 qu'avec ceux à 5 kilogrammes.

Tous ces faits militent en faveur d'une batterie à 5 kilogrammes et plus pour les générateurs chargés de la cuite et des chauffages.

Voici donc le cas où deux batteries de générateurs doivent donner de bons résultats, et, de fait, les sucreries qui se sont montées ainsi s'en sont toujours bien trouvés.

Mais dans les usines modernes, avec chauffages à effets multiples, ce scindage est complètement inutile, puisque toute la vapeur passe par le quadruple-effet, soit qu'elle provienne des machines, soit qu'elle passe directement dans le premier corps. Dans ces sucreries le travail aux générateurs est absolument régulier à toute heure du jour ou de la nuit, jamais d'à-coup ni de surprise, la quantité de vapeur à fournir étant absolument identique en tous les instants. Tellement, que dans ce cas, on peut employer tous les types de générateurs indistinctement, même les multitubulaires comme De Naeyer et autres.

Nous avons dit que certaines usines avaient trouvé une grande économie à scinder leur batterie de générateurs en deux, dont l'une à haute pression. Mais le cas n'est pas général. Schmidt, dans plusieurs séries d'essais faits sur deux sucreries n'a observé aucune économie, C'est que probablement ces sucreries avaient une bonne marche, étaient fortes en générateurs, et ne se ressentaient pas des à-coups de la cuite. le travail et la surveillance y étant bien dirigés. Dans ce cas, pourquoi s'embarasser de deux batteries, deux tuyauteries distinctes, etc.? On voit donc que le cas n'est pas du tout général.

Lorsque deux batteries de générateurs sont à pressions différentes,

il est bon de mettre entre les deux un *déverseur* de vapeur qui fasse rentrer les vapeurs en excès de la batterie à haute pression dans la batterie à basse pression. Nous avons employé, avec avantage, pour cet usage, les détendeurs Legat, mais en renversant leur fonctionnement, faisant entrer la vapeur par la tubulure destinée ordinairement à la sortie. Selon nous, ce sont les déverseurs les plus sensibles de tous.

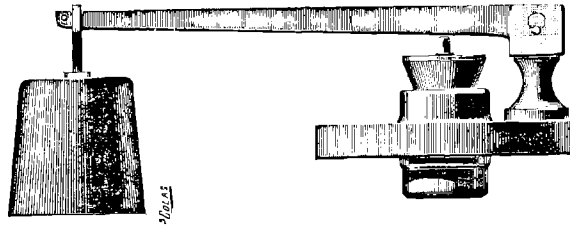


Fig. 172.

Il est utile d'avoir sur ses chaudières des soupapes de sûreté à grand débit, comme les soupapes Dulac (fig. 172-173) dont nous avons décrit le fonctionnement précédemment (p. 585). Car si une grosse machine s'arrête, comme celle de la diffusion par exemple, il faut pouvoir évacuer rapidement l'excès fortuit de la vapeur.

Enfin, nous conseillons, lorsque l'on n'a qu'une seule batterie à haute

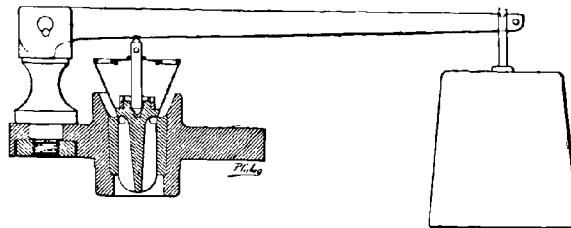


Fig. 173.

pression, d'employer des détendeurs entre la batterie et les chauffages, la cuite par exemple, pour être certain de n'avoir jamais dans les serpents qu'une pression modérée incapable de les faire sauter. Le détendeur Legat que nous employons de préférence parce que c'est pour ainsi dire le père de tous les autres et qu'il a été fort bien étudié par son inventeur, est construit de la manière suivante :

La figure 174 le représente en coupe, et la figure 175 le fait voir dans son ensemble.

La vapeur entre en E sous grande pression, et sort en S avec la pression plus faible que l'on ne veut pas dépasser. Sur son parcours, elle

rencontre une soupape équilibrée D qui est actionnée par une membrane métallique extensible M, au moyen de la tige F. C'est la pression la plus faible existant dans l'appareil qui actionne la membrane M, et ouvre et ferme la soupape équilibrée D, suivant le plus ou moins de vapeur nécessaire en S. Des ressorts-balances GG', placés extérieurement, et agissant également sur la soupape D, sont réglés au moyen du volant A', proportionnellement à la pression que l'on désire en S.

Il résulte de ce dispositif que, quelque grande que soit la pression de

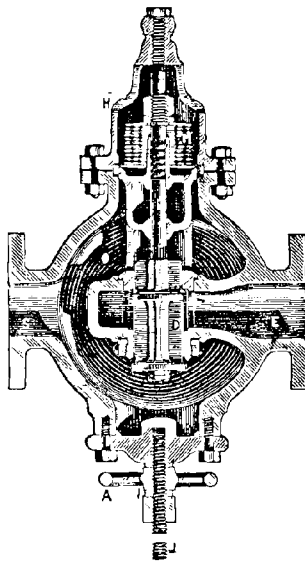


Fig. 174.

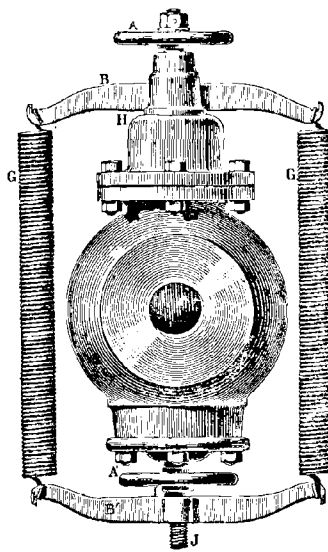


Fig. 175.

la vapeur passant par la soupape, cette vapeur ne sort jamais qu'à la pression minimum désirée. En sorte, que si du côté E se trouvent des générateurs à 6 kilogrammes de pression, et du côté S des serpentins à 3 kilogrammes, la soupape peut être réglée de manière à ce que la vapeur à 6 kilogrammes se détende à 3 kilogrammes avant d'entrer dans ces serpentins.

Cet appareil, construit avec grand soin, ne présente aucun presse-étoupe, ce qui lui donne une sensibilité extrême.

§ 7. — Observation sur la distribution de la vapeur.

Il y a certaines règles générales à suivre dans la distribution de la vapeur dans l'usine, que ce soit de la vapeur à haute ou à basse pression, qu'elle vienne directement des générateurs aux machines ou ser-

pentins, ou bien du réservoir dans lequel on accumule les retours de ces mêmes machines pour s'en servir dans le triple-effet ou dans les turbines.

Autant que possible, on devra se servir de vapeur sèche, c'est-à-dire débarrassée de l'eau entraînée à l'état vésiculaire, et qui, se déposant dans les parties basses de la tuyauterie, dans les cylindres des machines, etc., forcent à purger souvent ces différents points. C'est pourquoi les générateurs devront être réunis tous par un cylindre ou ballon horizontal d'assez grand diamètre, duquel partira la prise de vapeur générale. Il devra être disposé de telle sorte que la rentrée de cette eau dans les générateurs soit facile.

Le meilleur moyen, en effet, de sécher une vapeur, comme nous l'avons vu d'ailleurs à propos des appareils à triple-effet, est de la faire arriver dans un espace assez grand pour que sa vitesse soit brusquement ralentie; de la sorte, en effet, les corps lourds entraînés sous l'influence de cette vitesse tombent naturellement aussitôt que la cause d'entraînement cesse. Tel sera donc le rôle des *ballons* que l'on placera aux points les plus rapprochés des lieux où l'on a besoin de vapeur sèche.

D'ailleurs pour avoir de la vapeur sèche, sans *primage*, c'est-à-dire sans entraînement d'eau, le premier soin sera d'avoir des générateurs à grand espace de vapeur, pour la même raison que nous avons recommandé les caisses de triple-effet à hautes calandres. Il faudra aussi que le travail de l'usine soit aussi régulier que possible, car c'est au moment où l'on ouvre un gros robinet de vapeur, comme celui de la cuite, que le primage est le plus considérable. Sous ce rapport le système Rillieux de chauffage à effets multiples des jus et de la cuite assure une régularité parfaite dans la marche des générateurs, et grande facilité par conséquent pour les chauffeurs d'égaliser toujours leurs feux. Ce principe est d'ailleurs d'autant plus vrai que l'appareil d'évaporation est à effets multiples plus nombreux.

Schmidt a constaté qu'il y a des chances d'entraînement d'eau dans les générateurs dès que la production correspond à environ 400 kilogrammes par heure et mètre carré de plan d'eau, et à 600 kilogrammes par heure et mètre cube de chambre de vapeur. Dans les semi-tubulaires, pour une production maxima de 18 kilogrammes par heure et mètre carré de surface de chauffe, il faut que la surface de plan d'eau moyen soit égale au moins à $\frac{18}{400} = 4^{\text{m}},50$ pour 100 mètres carrés de surface de chauffe, et que le cube de chambre de vapeur soit au moins de $\frac{18}{600} = 3$ mètres cubes pour 100 mètres carrés de chauffe. Si le type de

chaudière ne répond pas à ces données, on doit réduire d'autant la production de vapeur.

Enfin, les ballons rendent service pour le cas où l'on a de nombreux tuyaux à brancher sur une conduite générale dans différentes directions. En effet, on doit toujours éviter les coudes dans les conduites, et malheureusement on est obligé trop souvent de brancher à angle droit des tuyaux les uns sur les autres. Si donc on ralentit la vitesse de la vapeur dans une conduite par l'interposition d'un ballon, si l'on branche sur ce ballon toutes les prises de vapeur qui devaient se rattacher sur cette conduite, on aura évité de la sorte une partie de la perte de charge due à la multiplicité des coudes à angle droit.

Dans le même ordre d'idées, on devra, autant que possible, disposer de tuyaux à grande section, à cause de la multiplicité des coudes que l'on est obligé de leur faire faire dans l'aménagement quelquefois compliqué des sucreries. Nous avons vu, en effet, dans une fabrique, une machine mettant en mouvement les turbines, beaucoup plus forte qu'il n'aurait fallu en toute autre circonstance, entraîner difficilement sa transmission, le régulateur étant tout ouvert, parce qu'elle se trouvait à l'extrémité de la conduite générale et que le tuyau de vapeur qui la desservait était de trop petit diamètre. On était obligé de perdre sa vapeur d'échappement, sinon elle s'arrêtait. Il est évident que la pression initiale de la vapeur, qui était de 5 atmosphères dans les générateurs, était abaissée au moins à 3 atmosphères, peut-être à 2 au bout de la conduite.

Enfin, il est indispensable que tous les ballons ou réservoirs de vapeur, toute la tuyauterie grosse et petite, soient garnis de tresses de paille ou de toute autre matière isolante à la portée de l'usinier, pour éviter les condensations. On y gagnera 20 % au moins dans la puissance productrice de la vapeur; on verra, en effet, l'immense quantité d'eau condensée que l'on sera obligé de purger des tuyaux non garnis, et qui deviendra presque nulle en cas contraire. Quoiqu'il en soit, toutes les conduites de vapeur devront, à leur extrémité, être garnies de robinets purgeurs, et dans tous les points où elles feront siphon, c'est-à-dire où elles s'abaisseront au-dessous du niveau général de la tuyauterie.

Dans l'installation d'une usine, on devra placer la salle des générateurs en un tel point que la conduite principale de vapeur soit la plus courte et présente le moins de coudes possible. Nous ne nous occuperons pas ici de la conduite des générateurs, c'est une science à part que doit posséder le mécanicien de l'usine. Mais il faut que mécanicien et chauffeur connaissent bien la marche de la sucrerie, qu'ils veillent à ce que les foyers soient garnis suffisamment pour que la dépense peu

régulière de vapeur dans l'usine ne les prenne pas au dépourvu, comme cela arrive parfois lorsque l'on met en route la cuite faite avec la vapeur directe. L'usine devra donc en tout cas, pour éviter ces difficultés, être forte en vapeur.

Quant au choix d'un générateur, on devra rechercher ceux qui joignent la solidité, le facile contrôle à l'économie du combustible.

Le générateur simple à bouilleurs, le plus rustique de tous, est le plus encombrant et le moins économique; car, selon les auteurs, on arrive difficilement avec ce genre de générateurs à faire plus de 6 à 7 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille brûlée, tandis qu'on en fait 9 à 10 et même 11 avec les générateurs tubulaires et semi-tubulaires les plus perfectionnés. Il y a donc grande économie de combustible à choisir les derniers.

Le générateur tubulaire, forme de locomotive, complètement isolé est d'un maniement et d'un contrôle faciles; les générateurs semi-tubulaires simples et semi-tubulaires à bouilleurs sont plus économiques, moins encombrants; mais ils sont encastrés dans la maçonnerie et demandent plus de soins dans la mise en route à cause des dilatations inégales qu'ils sont sujets à éprouver.

Il y a beaucoup d'autres modèles réunissant les avantages de ces différents générateurs dans des proportions variables. On pourra, dans un pays où l'on a de bons ouvriers sous la main, prendre les semi-tubulaires les plus perfectionnés; mais dans les contrées plus éloignées des centres, où l'on confie parfois les générateurs à des mains peu soigneuses et peu expérimentées, les tubulaires ordinaires sont préférables, et même si le combustible est bon marché, on devra préférer les grands générateurs à bouilleurs.

Enfin, nous ferons mention du procédé Rillieux qui consiste à utiliser la chaleur perdue dans les carneaux des générateurs à bouilleurs pour chauffer un corps tubulaire qui devient un générateur à basse pression. Ce générateur sert alors de réservoir de retour à toutes les eaux condensées de l'usine, joue le rôle du ballon du triple-effet et c'est lui qui sert au chauffage du triple-effet, de la cuite, même à différents autres usages. On obtient ainsi une grande économie dans l'emploi général du combustible.

Vapeurs et eaux de retour. — L'échappement de la vapeur de toutes les machines de l'usine se fait par des tuyaux qui sont tous branchés sur un gros tuyau central, en fonte généralement, nommé *conduite des vapeurs et eaux de retour*. A ce tuyau, sont amenés aussi les retours des serpentins de toutes les chaudières qui en sont pourvues, ainsi que

des chaudières à cuire. Cette conduite, qui est généralement parallèle à celle de la vapeur directe, vient se rendre dans un cylindre clos ou *ballon*, vertical ou horizontal, dans lequel se déversent toutes les eaux de condensation des serpentins.

Ces eaux sont ordinairement évacuées du cylindre par en bas, au moyen d'un grand siphon destiné à faire équilibre à la contre-pression qu'établit l'échappement des machines. Ce procédé est mauvais, parce que la pression n'est pas toujours constante dans le ballon, et si elle monte au delà de la limite fixée par la longueur du siphon, celui-ci se vide et laisse échapper de la vapeur. On est donc limité dans la marche des appareils par la longueur d'un tuyau, ce qui ne doit pas être. Il est préférable d'établir dans ce ballon une soupape à flotteur qui règle l'évacuation de l'eau condensée au fur et à mesure qu'elle y afflue, et même cette soupape devra être telle que la pression qu'elle supporte n'empêche pas son fonctionnement. Une soupape ordinaire ne vaut donc rien ; un papillon ou un système équilibré vaut mieux.

C'est dans ce cylindre que l'appareil d'évaporation à effet multiple puise la vapeur qui l'alimente par une vaste tubulure en fonte placée latéralement. C'est aussi sur ce cylindre que se fait l'entrée de vapeur directe qui règle la marche des appareils. A la partie supérieure on installe une soupape chargée que l'on ouvre toutes les fois que l'on n'évapore pas et qui laisse alors échapper les vapeurs de retour dans l'atmosphère au-dessus du toit de l'usine.

Les eaux de retour qui s'échappent du ballon sont recueillies dans un réservoir où viennent se joindre encore celles provenant des purgeurs de tous les tuyaux et ballons interposés dans la tuyauterie. Là elles sont prises par la pompe alimentaire des générateurs ou par celles des divers ateliers où on les emploie. Comme l'eau des ballons et des purgeurs est à une température élevée à cause de la pression sous laquelle elle se trouve, si on la reçoit dans un ballon ouvert elle s'y détendra, et on perdra toute la vapeur provenant de cette détente, et l'on ne doit en perdre nulle part. Il est donc préférable d'employer un réservoir fermé, d'y maintenir une pression constante et de le vider au moyen d'une pompe qui refoulera l'eau directement aux générateurs. Sur ce réservoir on n'aura qu'un robinet faiblement ouvert destiné à laisser échapper avec un peu de vapeur les gaz non condensables, et l'air qui pourra se trouver dans les conduites purgées. Le robinet enverra sur le toit de l'usine ce léger échappement de vapeur. D'ailleurs tout cet agencement est bien simplifié avec les chauffages à effets multiples. Nous ne le citons que pour mémoire, car il tend à disparaître de jour en jour.

LIVRE DOUZIÈME

CALCUL DES DIMENSIONS D'UNE USINE

TRAITANT TROIS CENT MILLE KILOGRAMMES DE BETTERAVES

PAR 24 HEURES

Magasin à betteraves. — Ses dimensions varieront suivant la méthode de réception de l'usine.

En France et en Belgique on accumule les betteraves dans la cour de l'usine en grands tas, que l'on retourne de temps en temps quand la racine commence à s'allérer. C'est le plus mauvais des systèmes.

Quand, dans la cour, on a le transporteur hydraulique, on fait les tas sur le transporteur, laissant des chemins entre chacun des amas correspondant à un caniveau; c'est meilleur.

En Russie, toutes les usines possèdent de grands magasins clos, appelés *Bourakovnia*, dans lesquels on accumule les betteraves pour deux jours de travail au moins, tout le reste étant mis en silos.

Le volume occupé par 300.000 kilogrammes de betteraves est d'environ 540 mètres cubes. Une *Bourakovnia* devra donc avoir environ 1.000 mètres cubes pour ce travail.

Si l'on fait de grands tas dans les cours, si les racines sont accumulées sur une hauteur de 2 mètres, maximum que l'on ne devrait pas dépasser, il faut donc un espace utile de 270 à 300 mètres carrés, soit, pour fixer les idées, un carré de 17^m,320 de côté par journée de travail. Cette surface de 300 mètres sera multipliée par le nombre de jours de travail pour lequel on devra faire sa provision dans la cour, et, réciproquement, dans une cour donnée, on pourra calculer ainsi le nombre de jours d'approvisionnement que l'on pourra y accumuler.

Autant que possible, les tas devront être sous hangars, à l'abri de la pluie, du soleil, et surtout des gelées. C'est une dépense, mais elle est vite amortie par le surplus de rendement que l'on en reçoit, surtout dans les années difficiles où les gelées nocturnes alternent avec le soleil dans la journée.

Si l'on fait des silos, comme dans tout l'est de l'Europe, ces silos ayant 3 mètres à la base et 1^m,50 de hauteur, leur volume est égal à : 2^m,25 × L, L étant la longueur du silo. Dès lors 300.000 kilogrammes de betteraves représentent 240 mètres de longueur de silo. On s'arrange ordinairement pour qu'un ou deux silos représentent le travail d'une

journalière. Comme il y a un chemin de 2 mètres tout autour des silos, la surface totale qu'ils occupent par journée de travail est de 1.200 mètres carrés, sans compter le grand chemin qui passe sur le front des silos, pour laisser le passage aux voitures qui amènent les betteraves des champs et aux chemins de fer qui les rentrent à l'usine.

Laveurs. — Les laveurs, tels qu'on les installe aujourd'hui avec le plus de commodité, sont au ras du sol, et le transporteur hydraulique y déverse les betteraves.

L'atelier des laveurs demande à peu près 20 chevaux de force.

Élévateur. — Les betteraves lavées tombent dans un élévateur vertical qui les remonte tout en haut de l'usine. Si cette hauteur est de 15 mètres, cela fait 52 kilogrammètres par seconde comme force développée pour l'élévation de la betterave seule, soit $\frac{52}{75}$ de cheval. Mais cette machine est assez lourde à mener, on peut donc compter 1,5 à 2 chevaux comme force motrice qui lui soit nécessaire.

Diffusion et Coupe-racines. — Nous prendrons une diffusion pour exemple de 14 diffuseurs qui nous permettra d'avoir des jus denses. Supposons que nous fassions 10 diffuseurs à l'heure; nous passerons 1.250 kilogrammes de cossettes par diffuseur, et si nous mettons 56 kilogrammes de cossettes par hectolitre de capacité, nos diffuseurs auront $\frac{1250}{56} = 22,3$ hectolitres, soit 25 hectolitres. Nous prendrons donc une batterie de 14 diffuseurs de 25 hectolitres qui nous permettra de pousser le travail à notre volonté.

Pour une telle diffusion un seul coupe-racines est nécessaire.

La diffusion comporte, de plus, une pompe qui devra pouvoir élever 10.000 hectolitres d'eau par 24 heures à 20 mètres de hauteur, représentant 230 kilogrammètres par seconde ou 3 chevaux de force, auxquels il faut ajouter les résistances de la machine et de la tuyauterie qui doublent à peu près la puissance nécessaire.

On peut compter pour les laveurs, élévateurs, coupe-racines, pompes, presses à cossettes avec leur élévateur et services divers, environ 120 chevaux pour le service de la diffusion.

Les calorificateurs seront tubulaires; s'ils sont chauffés à vapeur directe ou de retour, 4 mètres de surface de chauffe suffisent. Si, au contraire, on prend la vapeur sur l'appareil d'évaporation, il leur faudra 6 mètres.

300.000 kilogrammes de betteraves donneront 360.000 litres de jus de diffusion. Supposons que les cossettes entrent à la température de 10°

dans les diffuseurs et qu'elles en sortent à 40°; de même pour l'eau.

360.000 kilogrammes de jus chauffés à 30° prendront 10.800.000 calories. 300.000 kilogrammes de cossettes, auxquelles nous supposons 0,6 de chaleur spécifique, prendront $300.000 \times 30 \times 6 = 5.400.000$ calories. Soit au total pour le chauffage du contenu des diffuseurs 16.200.000 calories, représentant 25,312 kilogrammes de vapeur par 24 heures, soit 1.053 kilogrammes de vapeur à l'heure.

Il faut ajouter à cela les calories perdues dans les eaux de vidange, soit 10 diffuseurs à l'heure, contenant 10 hectolitres d'eau, cela fait 100 hectolitres d'eau à 20° environ, soit 200.000 calories ou 312 kilogrammes de vapeur.

Il faudrait encore tenir compte du réchauffement de la tôle des diffuseurs à chaque chargement, des refroidissements par radiation, etc., et nous approcherions bien près de 1.500 kilogrammes de vapeur à l'heure que réclame la diffusion, à peu près 100 mètres de générateur.

Hauteur du bac en charge de la diffusion. — Si l'on calcule la longueur du circuit que doit parcourir le liquide en mouvement depuis le bac à eau jusqu'au bac à jus, on voit qu'avec dix diffuseurs en marche de 2^m,60 de hauteur, par exemple, leurs calorificateurs, la tuyauterie venant du bac et celle allant au mesureur, tout cela réuni fait au moins une longueur de 70 mètres, et souvent plus.

Il est difficile d'évaluer exactement la perte de charge que fait subir au liquide ce long circuit. Car si les diffuseurs, à vide, n'offrent aucune résistance, par contre la robinetterie nombreuse et la quantité de coudes droits, de renversements de courants et d'étranglements qu'elle occasionne sont autant d'obstacles que la colonne d'eau doit vaincre.

Supposons cependant que l'on assimile le tout à un tuyau droit de 70 mètres, les diffuseurs faisant la correction de la robinetterie, si nous recherchons par une formule quelconque la charge nécessaire pour faire écouler le jus à sa vitesse normale dans le bac mesureur, on voit qu'il faut au moins 4 mètres de colonne d'eau.

Donc, rien que pour vaincre la résistance de la batterie à vide, l'eau devrait monter de 4 mètres environ dans le tuyau descendant du bac mesureur, et nous croyons ne pas être bien éloigné de la vérité en faisant ainsi le calcul.

Nous voyons d'ailleurs (p. 249) dans le travail de Lizeray qu'il évalue au minimum de 3,910 la résistance en mètres d'une batterie, en partant de considérations autres que les nôtres.

Lorsque les dix diffuseurs sont pleins de cossette, ils déterminent une nouvelle perte de charge considérable, variable avec la nature de la

cossette, et pouvant monter jusqu'à l'infini, c'est-à-dire arrêter la circulation, comme en cas de collage, par exemple. Lizeray a constaté par expérience que la résistance due à la cossette varie de 6 à 10 mètres, suivant la grosseur de la cossette supposée de bonne qualité.

Il suit de là que la hauteur du bac à eau en charge sur le bac mesureur devra être au minimum de $6 + 4 = 10$ mètres, avec préférence pour $10 + 4 = 14$ mètres, hauteur adoptée généralement. Mais, en tout cas, la tuyauterie devra être calculée de telle sorte que les liquides, eau et jus, n'aient pas plus de 40 à 50 centimètres de vitesse par seconde, plutôt moins que plus, et dans la robinetterie on devra s'efforcer à diminuer encore de moitié cette vitesse pour tenir compte des pertes de charge par les changements brusques et fréquents de direction.

Si l'on suppose dans notre cas 360.000 litres d'eau comme nécessaires à la diffusion, la tuyauterie devra avoir 120 millimètres de diamètre au moins.

Presses à cossettes. — Les cossettes de la diffusion sont élevées par une chaîne à godet jusqu'au sommet des presses Bergreen. Il faut une presse par 60.000 kilogrammes de betteraves : il nous en faudra donc 5. On en fait d'ailleurs de plus grands modèles. Ces presses demandent beaucoup de force. Il faudra au moins 20 chevaux pour les presses, leur élévateur, leur vis d'entraînement, etc.

Silos pour les cossettes. — Les cossettes contiennent 90 % d'eau et 10 de matière sèche. Leur volume sera donc un peu plus considérable que celui de la betterave. Mais conservées en silos elles perdront cet excès d'eau, et leur volume sera sensiblement le même que leur poids.

Donc, 300.000 kilogrammes de cossettes occuperont finalement 300 mètres cubes. Il faudra donc des fosses de 27.000 mètres cubes si l'on conserve toute la cossette de la fabrication sans en vendre aux cultivateurs pendant la campagne, ce qui est rare. Cependant nous avons vu le cas en Russie.

Carbonatations. — La première carbonatation avec du gaz à 25 % dure une heure. L'emplissage et la vidange demandent une demi-heure. Une chaudière peut donc servir 16 fois en 24 heures. Pour travailler 4.000 hectolitres de jus maximum, il faudra une capacité de chaudière égale à $\frac{4000}{16} = 250$ hectolitres. A notre avis, il faut au moins cinq chaudières de première carbonatation, une en emplissage, deux en travail, une en chauffage, une en vidange. Il convient d'avoir deux chaudières

en travail à cause de la pompe à gaz, pour que son travail soit régulier, car une chaudière a son robinet ouvert en plein, tandis que l'autre, au moment critique des mousses, ne l'ouvre qu'à moitié. De la sorte il arrivera beaucoup moins souvent que l'on enverra le gaz sur le toit, et le travail sera toujours régulier.

Si l'on a des réchauffeurs avant carbonatation, quatre chaudières seront suffisantes.

Comme nous avons deux chaudières en travail, leur capacité utile au robinet de jauge sera de 125 hectolitres.

La deuxième carbonatation dure 20 minutes, soit 45 minutes pour l'emplissage et la vidange. Une chaudière pourra donc servir 32 fois en 24 heures, donnant une capacité de $\frac{4000}{32} = 125$ hectolitres. Ici, comme le travail est plus régulier, trois chaudières de 125 hectolitres, c'est-à-dire de la même capacité que celles de première, nous suffiront.

Surface des serpentins des chaudières à carbonater. — Nous comptons 4.000 hectolitres de jus à chauffer de 40 à 85, y compris l'eau de chaux ajoutée (ce chiffre est d'ailleurs un peu fort). Soit 167 hectolitres par heure, demandant $16.600 \times (85 - 40) = 747.000$ calories ou $\frac{747000}{654} = 1.142$ kilogrammes de vapeur par heure à 5,5 kilogrammes de pression, soit 1.200 kilogrammes avec les condensations de la tuyauterie. C'est donc 80 mètres de générateurs qui fourniront cette vapeur.

Nos chaudières contiennent 125 hectolitres de jus à 40°; il faut leur fournir $12.500 (85 - 40) = 562.500$ calories en dix minutes, par exemple. Nous avons indiqué antérieurement comment on calcule cette surface. Avec de la vapeur à 5 atmosphères, il nous faudrait environ 14 mètres carrés de serpentín.

Dans les chaudières de seconde, où nous chauffons de 80 à 100, soit de 20°, il nous faudra environ 9 mètres carrés de serpentín pour chauffer en 10 minutes.

Chaux. — On met en moyenne 20 millièmes de chaux à la première carbonatation, 6 à la seconde, soit 26 millièmes au total. Si l'on compte 300.000 kilogrammes de betteraves travaillées par 24 heures, il faut 7.800 kilogrammes de chaux, soit 8.500 à 9.000 kilogrammes avec les pertes, soit 375 kilogrammes de chaux par heure.

Il faudra donc, pour produire cette quantité de chaux opérer sur 18.000 kilogrammes de calcaire par jour ou 15 mètres cubes environ et 1.500 kilogrammes de coke, soit un peu moins de 4 mètres cubes.

On devra avoir un four d'une capacité de 50 mètres cubes environ, ou deux petits fours belges faisant 200 kilogrammes de chaux par heure.

Deux fours ont plus d'avantage qu'un seul, parce que s'il arrive une avarie à l'un, l'usine n'est pas tout à fait arrêtée pour cela ; mais un seul four est plus facile à atteler à la pompe. Dans le cas de deux fours, il faut deux laveurs, et mettre une vanne fermant bien après chaque laveur, vannes que l'on réglera pour que le tirage soit bon dans chacun des fours.

La provision de calcaire nécessaire pour une fabrication de 90 jours, devra donc être 1.700.000 kilogrammes, soit 1.400 mètres cubes que l'on entassera sous des hangars légers.

Lait de chaux. — Si on fait le lait de chaux à 20 %, soit 80 kilogrammes d'eau pour 20 kilogrammes de chaux, 9.000 kilogrammes de chaux demandent 40 hectolitres d'eau pour l'extinction, plus 360 hectolitres de petites eaux pour faire le lait, soit 400 hectolitres de lait de chaux, demandant environ 4 chevaux de force pour être remontés à la carbonatation.

Machine à gaz. — Le four ci-dessus débitera du gaz à 30 % d'acide carbonique au moins s'il est bien conduit. La pompe aura donc environ 20.000 mètres cubes de gaz à extraire dans 24 heures, chiffre variable avec la température. Si l'on admet que la machine fasse un tour par seconde, il lui faudra un cylindre de 800 de diamètre pour faire le service de la carbonatation.

L'effort nécessaire pour mettre en mouvement cette machine sera celui produit par la masse du jus soulevée sur une telle surface. Les chaudières à carbonater ayant 1^m,50 de hauteur de jus, la pression exercée sur le fond du piston sera de 750 kilogrammes environ à chaque demi-tour, soit 1.500 par tour entier, demandant la force de 32 à 33 chevaux. On lui donnera 40 chevaux pour vaincre les résistances de la machine elle-même.

Pompe à écumes. — Ces pompes auront 4.000 hectolitres de jus à refouler à travers les filtres-presses avec une pression de 3 atmosphères dans la bouteille de refoulement, soit engendrer environ 140 kilogrammes par seconde, ce qui représente moins de 2 chevaux de force. On leur donne beaucoup plus de puissance parce que ces machines ont à vaincre des résistances parfois plus considérables et ont les points morts de leurs manivelles à passer ; c'est pourquoi on accouple deux moteurs

d'égale puissance sur le même arbre. Mais l'action définitive n'est pas plus grande que celle indiquée, à laquelle il faut cependant ajouter les résistances de la machine elle-même, parfois considérables, surtout celles qui ont des pistons plongeurs dont les bourrages mal construits doivent être serrés outre mesure.

Il y aura une seconde pompe semblable pour la seconde carbonatation. On évalue à 16 chevaux la force que réclament ces deux machines.

Filtres-presses. — Les boues de carbonatation représentent *au maximum* 12 % du poids de la betterave ce qui fera pour 300.000 kilogrammes de betteraves 36.000 kilogrammes de boues; soit pour 90 jours de fabrication 2.700 mètres cubes d'écumes à entasser dans la fosse d'où on la retirera après la campagne.

Nous avons 4.000 hectolitres de jus à passer par les filtres-presses. Il faudra en activité $4 \times 45 = 180$ mètres pour la première carbonatation et $4 \times 15 = 60$ mètres pour la seconde.

On choisira donc le modèle de filtre-presse que l'on préférera et prendra les dimensions correspondantes à ces nombres.

Nous préférons pour la première carbonatation les filtres à cadres de 1 mètre carré, représentant 2 mètres de surface filtrante par cadre. Il faudra donc 90 cadres, soit 2 grands filtres de 45 cadres, et un troisième semblable pour nettoyage, soit en tout 3 filtres.

Pour la deuxième carbonatation on pourra prendre de petits filtres-presses. Si on prend des cadres de 800, soit 0,64 mètre carré, il faudra 50 cadres environ, soit deux de 25 cadres, et un troisième de rechange.

Filtres-mécaniques. — Un mètre carré de surface dans les filtres Philippe filtre 40 hectolitres de jus par 24 heures. Il faudra donc $\frac{4.000}{40} = 100$ mètres. Mais la première carbonatation filtrant un peu plus difficilement, nous prendrons 4 filtres de 40 mètres pour en avoir un de rechange à la première carbonatation et 3 de 40 pour la seconde, parce que la filtration se fait plus facilement.

Évaporation. — Pour évaporer 4.000 hectolitres de jus et faire du sirop à 27 Baumé, il nous faut un triple-effet de 400 mètres carrés, soit trois caisses de 133 mètres carrés.

Mais ce montage est suranné. Pour faire des économies de combustible on devra employer au moins un quadruple-effet avec chauffages à effets multiples.

Nous renvoyons pour sa description à celle de l'appareil de la sucrerie de Coucy-les-Eppes que nous donnons plus loin.

Réchauffage du sirop. — Au sortir de l'évaporation le sirop est à 50° de température. Il faut le réchauffer à 100° environ pour le filtrer.

4.000 hectolitres de jus donneront environ 800 hectolitres de sirop; sa chaleur spécifique étant 0,6 environ et sa densité 1,3, il faudra lui fournir $80.000 \times 50 \times 1,3 \times 0,6 = 3.240.000$ calories représentant 5.000 kilogrammes de vapeur par 24 heures, ou 208 kilogrammes de vapeur par heure.

Filtration. — Les filtres Philippe passent 20 hectolitres de sirop par mètre carré, par 2½ heures. Il faudra donc $\frac{800}{20} = 40$ mètres de surface filtrante. On prendra 3 filtres de 20 mètres pour en avoir un de rechange.

Cuite. — Le sirop en sortant des filtres va dans des bacs d'attente où il se refroidit à 40° environ. A feu nu la cuite bout à 115° environ, et le sirop à 103°; il y a donc 12° de différence entre le point d'ébullition des deux liquides. Au milieu de l'opération, terme moyen de comparaison pour les calculs, il y aura 6° de différence ou bien 9° de température au-dessus de celle de la vapeur qu'émettra le liquide. Si donc la vapeur émise est à 60°, le liquide bouera à 69°. Il faudra donc élever le liquide de 40° à 69°, soit lui fournir 29° de température, la chaleur spécifique de la masse cuite étant 0,5 environ. Il faudra ensuite fournir la vapeur nécessaire pour élever le liquide de 30° Baumé au point de cuite qui ne laisse plus que 8 à 10 % d'eau dans la masse, c'est-à-dire enlever 39 % d'eau au sirop. Sur 800 hectolitres ou 104.000 kilogrammes de sirop, on évaporera donc 40.560 kilogrammes d'eau.

Donc pour réchauffer le sirop de 29° dans la chaudière à cuire, il faudra $104.000 \times 29 \times 0,5 = 1.508.000$ calories.

Pour évaporer 40.560 kilogrammes d'eau portée au point d'ébullition, on emploiera 21.740.160 calories.

Ces calories seront fournies par de la vapeur à 4 atmosphères de pression, quand on cuit à vapeur directe, cas actuellement le plus général.

La vapeur à 4 atmosphères est à 144°; la paroi de condensation dans la chaudière à cuire sera à 69°; donc, en passant de 144° à 69° et se condensant, la vapeur abandonnera $537 + (144 - 69) = 612$ calories.

Il faudra donc, pour réchauffer le sirop, employer $\frac{1.508.000}{612} = 2.464$ kilogrammes de vapeur, et pour porter au point de cuite 34.130 kilogrammes de vapeur, total 36.500 kilogrammes de vapeur pour faire la cuite, que nous représenterons par 1.460 chevaux-vapeur. Comme la cuite dure environ dix heures, il faudra par heure fournir 146 chevaux-vapeur pendant que la cuite marchera.

Il faut de plus remarquer que l'évaporation étant beaucoup plus rapide au début qu'à la fin de la cuite, on absorbe beaucoup plus de vapeur au commencement de l'opération qu'à la fin. C'est cette énorme dépense de vapeur nécessitée en un moment seul de la journée qui fait toute la difficulté de la conduite des générateurs. Le cuiseur devra donc prévenir les chauffeurs afin qu'ils se tiennent forts en vapeur lorsque l'on commencera une cuite, sous peine de voir tomber tout d'un coup la pression et arrêter l'usine.

Chaque cuite emploiera environ 5.000 hectolitres d'eau d'injection au condenseur.

Si nous supposons un rendement de 15 % de masse cuite, 4.000 hectolitres de jus donneront 600 hectolitres de masse cuite. La cuite durant 10 heures, on pourra faire deux cuites par 24 heures. La chaudière à cuire devra donc avoir un volume de 300 hectolitres effectifs. Telles sont les chaudières de 4^m,500 de diamètre qui ont 2^m,800 de hauteur de calandre, et quatre serpents représentant une surface de chauffe de 55 à 60 mètres carrés.

Pompe à air. — Avec une pareille chaudière à cuire, une pompe de 500 millimètres de diamètre et de 550 de course sera suffisante. Le cylindre de la machine à vapeur aura 340 millimètres de diamètre, la même course, et le volant fera 55 tours environ. Cette pompe demandera une force d'environ 26 chevaux-vapeur.

Nous remarquerons ici que l'on aurait eu tout avantage à ne faire qu'un seul condenseur et qu'une seule pompe pour la cuite et pour le triple-effet; on n'aurait eu qu'une seule machine de 100 chevaux pour les deux, machine qui aurait entraîné les pompes pour l'enlèvement des eaux ammoniacales, pompes à jus et pompes à sirop et qui certes aurait coûté moins d'ennuis et moins d'argent que toutes ces pompes séparées qui se raccrochent à des machines diverses, etc. La division des machines dans les sucreries est un embarras dont on devrait bien revenir.

Bacs à masse cuite. — Ils devront avoir comme volume total 600 hectolitres. Mais comme on ne peut pas toujours turbiner tout en un jour,

pour une cause ou pour une autre, il faut en avoir un troisième, soit 900 hectolitres en trois ou plusieurs bacs.

Moulin malaxeur. — On construit des moulins malaxeurs capables de travailler 600 hectolitres de masse par jour; ils emploient deux chevaux à peine comme force motrice.

Turbines. — Les turbines travaillent 50 kilogrammes de masse cuite faisant 35 litres. Pour travailler 60.000 litres de masse il faudra 1.700 turbinages en 22 heures ou 78 par heure. Si chaque opération dure dix minutes, il faudra 13 turbines.

Chaque turbine exige au plus 1 cheval 1/2 de force, total 20 chevaux.

Cuite de seconds jets. — Nous aurons environ 150 à 200 hectolitres de masse cuite de seconds jets. Aujourd'hui que l'on fait lentement les cuites, il faudra un appareil d'au moins 100 hectolitres.

Si l'on n'a pas de malaxeurs, on devra avoir en empris une contenance de bacs d'au moins 10.000 hectolitres pour contenir la moitié de la fabrication.

Il faudra de plus 5 à 6 turbines affectées seulement au travail des bas produits.

Eau de l'usine. — L'eau nécessaire à l'usine peut se répartir ainsi par 24 heures, en hectolitres :

Laveur	300
Diffusion	4.000
Lait de chaux.	400
Lavage des filtres-presses	400
Evaporation (triple-effet)	21.000
Cuite	10.000
Total.	39.100

Cela fait avec l'eau nécessaire aux lavages de l'usine au moins 40.000 hectolitres d'eau par jour dont a besoin la sucrerie. Ces eaux sont réparties dans différents réservoirs où les accumulent des pompes. Nous en avons calculé une pour la diffusion et divers services représentant 10.000 hectolitres. Si l'on a des condenseurs ordinaires de pompe humide pour le triple-effet et la cuite, les 34.000 hectolitres qui leur sont nécessaires seront aspirés directement dans un puits. Si au contraire on a des pompes sèches, on refoulera ces eaux dans des réservoirs placés à 10 mètres au moins de hauteur, par une pompe qui prendra environ 53 chevaux de force, auxquels il faut ajouter les pertes de

charges dues à la tuyauterie et la résistance de la machine. Il faut donc compter 60 chevaux.

A cela, nous avons à ajouter l'eau nécessaire pour les transporteurs hydrauliques. On se sert pour cet usage des 34.000 hectolitres des condenseurs. Il faudra donc encore une pompe pour élever cette quantité de quelques mètres. Si l'on a 3 mètres de différence de niveau, soit le tiers de ce que l'on avait précédemment calculé, 20 chevaux de force seront amplement suffisants.

Quantité de vapeur totale. — La consommation totale de vapeur d'une sucrerie traitant 300 tonnes de betteraves par 24 heures et munie d'un triple-effet, est d'environ 14.000 kilogrammes par heure. Si l'on avait un quadruple-effet avec chauffage, on ne consommerait que 10.100 kilogrammes de vapeur par heure.

Si l'on suppose les générateurs faisant 15 kilogrammes de vapeur par heure et par mètre carré, il faudrait 934 mètres de générateurs dans le premier cas, et un peu moins de 700 mètres dans le second.

Si l'on adopte le modèle très courant de générateurs semi-tubulaires de 150 mètres carrés, pour être fort en vapeur on devra avoir 7 générateurs dans le premier cas et 5 dans le second.

Combustible. — En supposant une production de vapeur de 9 kilogrammes par kilogramme de charbon, ce qui peut même être dépassé en utilisant bien ses eaux chaudes, on brûlera avec le triple-effet

$$\frac{14.000}{9} = 1.555 \text{ kilogrammes de charbon et avec le quadruple effet}$$

$$\frac{10.100}{9} = 1.120.$$

La consommation par campagne de 90 jours sera de 3.400 tonnes dans un cas et de 2.520 tonnes dans l'autre. Ces chiffres permettent d'établir la surface nécessaire pour accumuler le charbon dans les cours, sachant que le mètre cube de charbon pèse de 942 à 1.328 kilogrammes suivant qualité.

Mélasse. — Les mélasses finales forment de 3 à 4 pour cent du poids de la betterave, on en aura donc 10 à 12.000 kilogrammes par jour, environ 80 hectolitres, soit 7.200 hectolitres pour toute la campagne, capacité des réservoirs nécessaires pour la contenir si l'on n'en vend pas à mesure de la production, ou si on la met en fûts.

LIVRE TREIZIÈME

ANALYSES

AVANT-PROPOS

Dans ce livre des analyses, nous aurons à repasser toute la fabrication du sucre, car rien dans tout son cours, depuis la naissance de la betterave jusqu'aux derniers résidus de la fabrication, ne doit et ne peut être négligé du chimiste, dont le registre de laboratoire doit donner l'image fidèle de tous les détails les plus minimes du travail. Il n'y a rien à négliger dans une fabrique au point de vue chimique. Les seuls éléments qui y entrent sont l'eau, la chaux et la betterave ; ceux qui en sortent sont les sucres, la mélasse, les boues, les résidus de la betterave et les eaux de déchet. La somme du sucre sorti et de celui inévitablement retenu dans les déchets, doit donner la quantité de sucre contenu dans la betterave qui est entrée dans l'usine, sinon il y a perte quelque part, c'est évident. N'est-il pas même la vapeur que l'on rejette en dehors qui mérite l'attention du chimiste, car nous avons maintes fois reconnu la présence du sucre dans les gouttelettes d'eau projetées dans le jet de vapeur sortant des monte-jus. Combien de fois les eaux de la pompe du triple-effet et de l'appareil à cuire, entre les mains d'ouvriers négligents, sont-elles aussi sucrées, en dépit de la surveillance des contre-maitres ? De plus, les travaux modernes ont assigné à la chimie sa place dans la culture, car les terres ne doivent-elles pas être analysées avant de recevoir l'engrais approprié ? Ne doit-on pas aussi chercher la composition des engrais dont on dispose pour les rendre aptes à donner les meilleurs résultats en culture. Enfin, l'eau même qui alimente les appareils est fort intéressante à connaître dans sa composition, puisqu'en l'ajoutant au jus on introduit dans les sucres ses éléments nuisibles si elle en contient.

Ces considérations nous conduisent donc à classer l'étude des analyses en deux catégories : l'analyse des matières qui contiennent du sucre, et de celles qui n'en contiennent pas.

Nous ferons quatre catégories des premières :

1° Tous les liquides sucrés ;

2° Les betteraves, pulpes, cossettes, écumes, etc. ;

3° Les sucres ;

4° Les mélasses.

Les secondes contiendront l'étude :

Des terres.

Des engrais.

Du noir animal.

De la chaux.

Du gaz carbonique.

Des eaux.

CHAPITRE PREMIER

DOSAGE DU SUCRE DANS LES LIQUIDES SUCRÉS

Nous avons vu qu'il y avait deux espèces de sucre ; le sucre cristallisable, et le sucre non cristallisable. Nous avons vu aussi que le premier se convertit facilement en sucre incristallisable par l'action des acides et des ferments.

Voici donc immédiatement pour le sucre cristallisable deux méthodes d'analyse en présence : doser le sucre cristallisable directement, ou bien le doser indirectement après l'avoir converti en sucre incristallisable.

L'une et l'autre s'emploient suivant les circonstances dans lesquelles le sucre se trouve soumis à l'analyse.

TITRE I

DENSIMÉTRIE

§ 1. — **Prise de la densité.**

Lorsque le sucre est dissous dans l'eau, le liquide, à volume égal, augmente de poids, ce que l'on exprime en disant que sa densité augmente, et sa densité est d'autant plus grande que la quantité de sucre dissous est plus grande. Dès lors, si l'on avait du sucre pur dissous dans l'eau pure, en prenant la densité de la dissolution on pourrait savoir immédiatement la quantité de sucre contenu au moyen de tables dressées à l'avance directement par dissolution de quantités de sucre connues dans un poids d'eau déterminé. C'est en effet, dans tous les cas, ce que l'on fait en premier lieu dans l'analyse d'un liquide sucré.

Il y a plusieurs méthodes pour prendre la densité d'un liquide. La plus généralement répandue dans les analyses commerciales est celle qui a pour base l'emploi des appareils appelés densimètres, aréomètres, pèse-sirops, etc.

Mais lorsque l'on veut faire un travail sérieux, on a recours à la méthode du flacon, ou à celle de la balance hydrostatique.

La méthode du flacon est longue et demande des soins minutieux. Le flacon dont on se sert est un petit ballon bouché à l'émeri.

Le bouchon est creux et se termine par une partie effilée portant un

trait de repère. On emplit le flacon complètement; on pose le bouchon dessus d'un mouvement un peu brusque pour bien chasser l'air; le liquide en excès monte dans la partie effilée du bouchon. On affleure en retirant l'excès du liquide avec du papier à filtrer qui absorbe les quelques gouttes qu'il y a à retirer, et l'on pèse. En faisant l'opération successivement avec de l'eau et avec le liquide dont on veut la densité, et faisant le rapport des deux poids, on a la densité demandée.

Mais dans cette opération il faut prendre la température des liquides et faire les corrections nécessaires.

On construit sous le nom de *Picnomètres* des flacons dont le bouchon porte un thermomètre et qui sont jaugés préalablement à l'eau, de manière à ce que la pesée avec ce liquide soit évitée. On y joint des tables de correction.

La méthode de la balance hydrostatique est employée beaucoup plus aujourd'hui depuis l'invention de la *balance de Mohr* (fig. 176) que l'on trouve maintenant dans tous les laboratoires de sucrerie bien outillés. Comme sa manipulation est très facile et rapide, on la substitue très souvent aux aréomètres surtout pour les liquides visqueux comme les sirops et les mélasses.

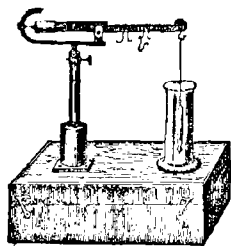


Fig. 176.

C'est un petit trébuchet composé d'un fléau reposant sur un couteau. Celui-ci est porté par un pied à coulisse permettant de varier sa hauteur au-dessus de la table d'expérience, et muni de vis callantes. L'un des bras du fléau, plus court que l'autre, porte une masse fixe et un index marquant la position horizontale. Sur l'autre bras sont ménagées neuf encoches marquant la place où l'on doit déposer les poids qui ont la forme dite de *cavaliers*. Enfin à l'extrémité de ce bras un couteau supporte un crochet d'acier auquel est suspendu par un fil de platine un flotteur en verre contenant un thermomètre, et dont le volume est exactement jaugé.

Dans cet état, lorsque le flotteur est accroché et ne plonge dans aucun liquide, la balance doit être en équilibre. Cet équilibre est naturellement rompu lorsque le flotteur plonge dans l'eau ou dans un jus ou sirop.

A ce moment on rétablit l'équilibre avec les cavaliers.

Or ces cavaliers ont des poids différents. L'un représente exactement le poids nécessaire pour rétablir l'équilibre lorsque le flotteur plonge dans l'eau, étant accroché au même crochet que le flotteur. Le nécessaire contient deux poids semblables. On y trouve en outre un

cavalier ayant $1/10$ de ce poids, un autre ayant $1/100$ et un dernier de $1/1000$ du poids principal pris pour unité. On rétablit donc l'équilibre de la balance en plaçant ces poids sur les encoches, qui sont d'ailleurs numérotées, et la simple lecture des chiffres placés sur les encoches occupées par les poids donne la densité du liquide, en commençant par le poids le plus lourd, et finissant par le plus léger.

Quand on a plusieurs poids à mettre à la même place, on les accroche les uns aux autres pour qu'un seul repose dans l'encoche et ne soit pas déplacé par les voisins, ce qui fausserait la pesée.

Comme l'appareil est tout jaugé, on conçoit que l'on puisse faire cette opération et cette lecture très rapidement, et avec plus de précision qu'avec le meilleur aréomètre. Une table jointe à l'appareil indique les corrections de température, celle-ci étant prise par le petit thermomètre contenu dans le flotteur.

Enfin cet appareil a l'avantage de demander beaucoup moins de liquide pour prendre une densité que les aréomètres, et mieux que la méthode du flacon. Un chimiste qui a l'habitude de s'en servir le préférera toujours à toute autre méthode de densimétrie.

Cependant il ne faut pas, comme l'a fait remarquer Démichel, lui demander une exactitude plus grande que la troisième décimale, encore celle-ci est-elle incertaine dans les liquides denses.

En effet l'appareil est équilibré dans l'air, puis dans le liquide dont on prend la densité. Or quand le flotteur plonge dans l'air il reçoit la poussée de l'air dont on ne tient pas compte. Quand il plonge dans le liquide il reçoit la poussée du liquide, et les poids que l'on ajoute sur le fléau représentent par conséquent la différence entre la poussée du liquide et la poussée de l'air. Enfin on ne tient pas compte non plus de la poussée de l'air sur les poids.

En établissant la formule qui donnerait la densité réelle avec cet instrument, Démichel a trouvé les erreurs suivantes: en appelant d la densité vraie et δ la densité trouvée :

Pour l'acide sulfurique $D =$	1,8427	$d - \delta = +$	0,00106
Sirap à	1,300	$+ 0,00037$	
— à	1,100	$+ 0,00012$	
Huile à	0,900	$- 0,00012$	
Alcool à	0,800	$- 0,00024$	
Ether à	0,700	$- 0,00037$	

Donc, on ne peut compter sur la 4^e décimale que pour les liquides dont la densité est rapprochée de celle de l'eau, et, pour des liquides très denses comme les mélasses, la 3^e décimale est elle-même incertaine, d'autant plus qu'on ne tient pas compte de l'action de la tension super-

ficielle du liquide sur le fil de platine qui fait un ménisque dont le poids affecte également la 4^e décimale.

§ 2. — Aréométrie.

Il y a plusieurs espèces d'aréomètres, mais en sucrerie les seuls qui soient en usage sont ceux dits à poids constant et à volume variable.

Le principe sur lequel sont basés ces instruments est celui-ci : tout corps flottant sur un liquide, déplace un volume de ce liquide dont le poids est égal au poids du corps lui-même. Donc, étant donné un corps flottant, sachant son poids P et aussi le volume de la partie plongeante V , on en déduira que sous ce volume V le poids du liquide considéré est P . Or, on appelle *densité* d'un corps le poids du corps sous l'unité de volume. Donc pour un volume V on aura la densité D égale au rapport P à V . On a dès lors :

$$D = \frac{P}{V} \text{ d'où } P = VD, \text{ d'où } V = \frac{P}{D}$$

Donc, ayant un flotteur de poids P constant, en faisant varier le volume de quantités égales : $V, V + a, V + 2a$, etc., on aura les densités correspondantes D, D', D'' , etc.

L'appareil a donc été construit de manière à avoir un volume facilement variable sous un poids constant.

On est arrivé à ce résultat en formant un flotteur avec un cylindre en verre lesté au moyen d'une petite boule pleine de mercure ou de petit plomb. Ce flotteur est surmonté d'une tige de verre cylindrique ou aplatie fermée à son extrémité et portant des divisions, soit gravées directement sur la tige, soit tracées sur un papier placé à l'intérieur. Le tout flotte verticalement, et on leste l'appareil de façon à ce que dans l'eau il ne sorte qu'une petite longueur de la tige. A ce point on marque O . Le volume d'eau déplacé par l'appareil est donc égal à celui du flotteur et de la portion immergée de la tige. La densité de l'eau étant 1, on a : $1 = \frac{P}{V}$, d'où $V = P$. Donc le volume de l'appareil jusqu'au point O est représenté par le même nombre que son poids.

Si maintenant l'eau vient à contenir en dissolution du sucre ou toute autre matière augmentant sa densité, quand l'appareil flottera il ne restera pas au O , le poids du liquide ainsi déplacé devenant plus grand que celui de l'appareil, il tendra à remonter à la surface ; mais en remontant, la tige sortant davantage, le volume immergé de l'appareil

diminue de toute la portion de cette tige qui se trouve hors du liquide, et dès lors le liquide déplacé peut présenter un volume dont le poids est égal à celui de l'appareil. A ce moment l'équilibre s'établit et l'aréomètre flotte à un point que l'on marque. Si l'on recommence l'expérience avec d'autres liquides de densités croissantes, comme la tige est uniforme, pour des densités croissant de quantités égales, la longueur de tige sortant chaque fois du liquide sera égale. Donc, d'après la longueur de la tige sortie, on pourra calculer la densité du liquide mis en expérience.

Les physiciens ont adopté un langage spécial pour formuler les données de l'expérience.

Soit V le volume de l'appareil, le volume compris entre deux divisions consécutives de la tige étant pris pour unité.

Soit n la division que marquerait l'appareil flottant dans un liquide de densité D .

Le volume déplacé est alors $V - n$, et le poids du liquide déplacé :

$$P = (V - n) D$$

Mais si l'on exprime que l'appareil plonge dans l'eau, comme $P = V$, on a l'expression :

$$V = (V - n) D$$

dans laquelle V s'appelle *module* de l'aréomètre, et qui permet de calculer D connaissant V et n , ou bien calculer V , le module de l'instrument, connaissant la division n que marque l'appareil flottant dans un liquide de densité D .

Ainsi donc, on peut graduer la tige d'une manière empirique, puis faire flotter son appareil dans un liquide de densité connue, et, marquant le degré d'affleurement, calculer celui qui correspond à toutes les densités, car d'après la formule précédente, on a :

$$V = \frac{D}{D-1} n \text{ et } D = \frac{V}{V-n}$$

UNITÉS DE MESURES

Telle est la théorie générale de l'aréométrie. Mais dans tout ce que nous venons de dire nous n'avons pas parlé de la température des liquides, nous avons seulement admis que la densité de l'eau était l'unité.

Cette supposition est néanmoins suffisante pour fixer les idées, car

les savants ont admis universellement que l'unité de densité était prise pour l'eau distillée à 4° de température.

Et cependant une grande confusion règne sur ce point dans toutes les tables de densité des liquides sucrés. En effet, si nous examinons les tables dressées antérieurement à 1890, nous voyons que l'on met toujours le chiffre 1 comme point de départ de la table, en écrivant au-dessus, soit *Densité*, soit *Poids spécifique* de l'eau pure, que la table soit allemande et dressée à 17°,5, ou française à 15° de température; et cependant à 15° la densité de l'eau est 0,99916, et une eau qui peserait 1 à 15° contiendrait 0,2 de sucre. On est donc en pleine erreur.

Il semble que ce soient les chimistes de sucrerie Français qui, les premiers, aient cherché à sortir de ces fausses pratiques. Aussi lorsqu'en 1894 se tint à Bruxelles le premier *Congrès international de Chimie appliquée*, la question des *unités de mesure* fut-elle portée à l'ordre du jour, car les mêmes irrégularités se répercutaient sur les vases jaugés et sur toutes les pratiques de mesure des liquides. En 1896, un second Congrès fut tenu à Paris, et l'on adopta définitivement les mesures suivantes qui seront suivies dorénavant dans les laboratoires de tous les pays du monde.

1° UNITÉ DE VOLUME. — Le *litre métrique* ou décimètre cube et ses subdivisions décimales, quelle que soit la température à laquelle on opère. Ainsi un litre d'eau à x° est le volume d'eau à cette température contenu dans un cube ayant 1 décimètre de côté, quel que soit le poids de cette eau;

2° POIDS SPÉCIFIQUE. — C'est le poids du corps à 0°, pesé dans le vide, comparé au poids d'un égal volume d'eau à 4° centigrades, pesé dans le vide également.

Le mot *Densité* représente le poids du corps comparé à un égal volume d'eau à une température quelconque, 15° généralement en France. Cependant on confond ordinairement les mots *Densité* et *Poids-spécifique* dans la même idée de comparaison à l'eau à 4°. Il serait donc utile de faire savoir dans chaque cas ce que l'on entend quand on écrit une densité; aussi a-t-on proposé d'écrire les densités sous cette forme, par exemple :

$$D_{15}^4 = m$$

exprimant que c'est de la densité d'un corps à 15° rapportée à l'eau à 4° qu'il s'agit. On ferait ainsi cesser toute incertitude;

3° TEMPÉRATURE. — Les températures seront toujours exprimées en degrés de l'échelle thermométrique centigrade.

Une autre question fort intéressante et qui a été soulevée au Congrès de Paris est celle des poids. Doit-on peser avec des poids en cuivre ou en platine, quand on fait des observations exactes? Dans nos laboratoires les poids jusqu'à 1 gramme sont en laiton et les subdivisions en platine. Or, l'étalonnage des poids en cuivre se fait paraît-il avec un poids étalon en platine, en sorte qu'il y a une petite erreur à cause du déplacement de l'air, erreur qui se fait sentir dans les milligrammes pour un poids de 1 kilogramme. En sorte que, lorsque le chimiste s'efforce à trouver le dixième de milligramme, il a une pesée fautive, parce que ses poids en cuivre sont faux. Si donc on a des travaux exacts à faire, il faut d'abord s'assurer de l'étalonnage de ses poids, et, s'ils sont comparés à un poids en platine, faire la correction.

Ces unités étant adoptées, il faudra faire attention à la rédaction des écrits auxquels on se référera. Ainsi, en Allemagne, la plupart des mesures de volume se font au moyen du *litre de Mohr* qui contient 1.000 grammes d'eau pesés dans l'air à 15° C., tandis qu'en France, le litre contient 1.000 grammes d'eau pesés dans le vide à 4° C. On devra se rapporter à ces données dans tout mémoire ne contenant pas d'indication spéciale de la manière dont sont mesurés les volumes.

Avant d'aller plus loin, disons que, un vase de verre de la contenance de 1 litre à 4°, aura une contenance de 1000,4 centimètres cubes à 15°. Un litre d'air à 15° sous la pression de 760 millimètres pèse 1 gr.225, et 1 gr.293 à 0°; le poids de l'air déplacé par 1 litre à 15° permettra de faire rapidement les corrections. Si l'on ne peut se trouver à 15° et à 760 millimètres de pression barométrique, on calculera le poids de l'air par la formule connue :

$$a = 1,293 \times \frac{H - F}{760} \times (1 + 0,00367 t)$$

a poids du litre d'air ;

H pression barométrique exprimée en millimètres ;

F tension de la vapeur d'eau (négligeable dans les calculs ordinaires) ;

t température observée en degrés centigrades.

Démichel, recommande, pour la mesure des liquides dans les vases en verre, de chercher le plus possible de se rapprocher des conditions normales de température et de pression plutôt que de faire des corrections pour la dilatation du verre, attendu que cette dilatation varie avec

chaque espèce de verre, et qu'on ne peut se fier aux coefficients connus, très divers d'ailleurs.

§ 3. — Graduation des aréomètres.

Aréomètre Baumé. — Il y a plusieurs méthodes de graduer les aréomètres. Baumé, vers 1780, fut un des premiers qui utilisa ce genre d'aréomètre sous le nom de *pèse-sirop*. Il graduait son appareil au moyen de dissolution de sel dans l'eau. Tel qu'il le fit, son pèse-sirop marquait 0 dans l'eau, et 66° dans l'acide sulfurique au *maximum* de concentration et à la température de 10° Réaumur, soit 12°,5 centigrades. Cette graduation tout empirique, dont les nombres ont l'inconvénient de ne rien indiquer par eux-mêmes, fut généralement adoptée, et sert encore dans maintes transactions commerciales. Malheureusement les mémoires de Baumé sont trop peu explicatifs, et, depuis cette époque, la science ayant marché, les densités prises comme base de son travail n'ayant plus rien de fixe, il existe de nos jours presque autant de graduations diverses que d'aréomètres, graduations qui dès lors ne sont par concordantes. Donc, quand on se sert d'un aréomètre de Baumé, on peut se mettre dans l'erreur la plus complète sur la valeur du liquide que l'on expérimente, si l'on ne sait pas sur quelles données il a été construit.

Nous allons passer en revue les différents aréomètres et nous reviendrons plus loin sur leurs modules.

Aréomètre Cartier. — Il existe un autre instrument analogue, dit aréomètre Cartier, usité dans quelques industries, pas du tout dans la sucrerie, et qui d'ailleurs ne vaut pas mieux que le précédent, et même moins, Cartier n'ayant laissé aucun mémoire sur la graduation. Quoi qu'il en soit, comme son module était fort petit et son instrument aussi par conséquent, l'appareil fut souvent utilisé à cause du peu de liquide qu'il nécessitait pour son usage.

La formule suivante permet de transformer les degrés Cartier C en degrés Baumé B :

$$12 C - 11 B = 10$$

Aréodensimètres. — Ces aréomètres n'indiquent pas à proprement parler la densité des liquides, densités dont on n'a guère eu besoin autrefois, vu que les fabrications diverses étaient toutes basées sur l'emploi de l'aréomètre Baumé. Mais l'industrie progressant avec la science, les indications de l'aréomètre devinrent incomplètes lorsque l'on voulut faire des mélanges exacts de produits. On fit alors des tables

marquant la correspondance entre les degrés Baumé et les densités, tables, d'ailleurs, aussi variables et aussi mensongères que toutes les graduations dites de Baumé, et l'on inscrivit même les densités sur les tiges des aréomètres, côte à côte avec les degrés Baumé. Enfin, les discussions et contestations ayant commencé sur la valeur vraie du module de Baumé, on en vint à supprimer complètement la graduation de Baumé, et faire de toutes pièces des aréomètres dont les divisions correspondaient, à 15 degrés centigrades, aux densités des liquides dans lesquels on plongeait l'instrument. Ces aréomètres, dits *densimètres* ou *aréodensimètres* sont aujourd'hui admis généralement dans les transactions commerciales, de préférence aux autres, à cause de leur plus grande exactitude et de leur plus facile vérification. Dans la fabrication du sucre on l'emploie maintenant de préférence, depuis que la régie a adopté son usage. De plus, on a adopté une simplification dans l'énoncé des densités. Comme elles sont toutes plus grandes que 1, on ne nomme plus que les centièmes de la densité; ainsi un liquide de densité 1,04 est dit marquer 4°; un autre de 1,065, marque 6°,5, enfin un liquide dont la densité est 1.153 est dit peser 15°,3, etc. Il est utile de bien indiquer, dans une transaction, le mode employé dans le langage, pour ne pas confondre les degrés Baumé avec les degrés densimétriques, qui sont tout différents, 4° densimétriques correspondant, par exemple, à 5°,7 Baumé.

Tables et aréomètres Brix et Balling. — Au moyen des aréomètres, on peut rechercher immédiatement la quantité de sucre contenue dans un sirop. A cet effet, on a dressé des tables donnant la quantité de sucre correspondant à chaque densité. Ces tables ont été faites, soit par expérience directe, soit par le calcul à des températures variées et au moyen d'instruments différents. Il en est résulté une grande confusion dans la manière de calculer les expériences et de les transmettre à d'autres pour les comparer, ceux-ci se servant de tables différentes et accusant de fausseté, à tort ou à raison, les résultats des premiers dont ils ne connaissaient pas le point de départ. Ces difficultés ont été bientôt remarquées et plusieurs chimistes ont cherché à y remédier.

L'une des plus anciennes tables est celle de Balling reprise plus tard par Brix, indiquant la quantité de sucre en poids contenu dans 100 parties en poids d'un sirop. Ce dernier, pour simplifier les recherches, avait fait un aréomètre sur lequel il avait substitué les quantités correspondantes de sucre aux degrés Baumé et aux densités, en sorte que la lecture sur l'aréomètre Brix ou Balling indique directement la richesse

en sucre d'une solution de sucre pur dans l'eau pure dans laquelle l'aréomètre affleurerait au point dénommé.

Comme ces tables, d'origine allemande, sont en usage surtout de l'autre côté du Rhin, nous les avons reproduites. On y verra jointes les densités et les degrés Baumé correspondants aux degrés Brix ou Balling, tels que les auteurs les avaient adoptés. Nous verrons plus loin que ces nombres diffèrent quelque peu de la vérité. Ces tables ont été faites à 17°,5. On admet que 3 degrés de température, en plus ou en moins de 15°, font baisser ou monter de 1/10 de degré l'indication de Baumé, ce qui mettrait, par exemple, à 1,2029 environ la densité correspondant à 25° Baumé et à 15° centigrades.

Depuis, de nombreux expérimentateurs ont recherché les quantités réelles de sucre contenues dans les dissolutions aux différentes densités, abstraction faite des indications de Baumé devenues sans valeur. Parmi eux sont : Dubrunfaut, Maumené, Pellet, Vivien, etc. Les nombres donnés par ces différents chimistes ne sont pas tout à fait concordants; de plus, tandis que Maumené et Vivien dressaient leurs tables à 15°, Dubrunfaut faisait le même travail à 0° et Pellet à 4°, ce qui est fâcheux et ne permet pas de juger de la différence réelle des nombres donnés. La plupart des tables, d'ailleurs, sont généralement publiées sans donner ces explications, et le fabricant et le chimiste sont exposés à en adopter les nombres de confiance, sans en connaître les bases. Il en est de même d'une quantité d'autres tables qui circulent de laboratoire en laboratoire sans aucune indication de provenance ni de nature, toutes tables dont il faut se méfier.

Modules des différents aréomètres. — D'après ce nous avons dit des difficultés que présente la détermination du module des aréomètres Baumé, il n'est pas étonnant que plusieurs chimistes et physiciens aient agité la question d'une manière plus complète de savoir à quel degré Baumé correspondait chaque degré de densité.

Gay-Lussac, en 1822, étudia les bases de l'aréomètre Baumé. Celui-ci attribuait à son appareil le degré 66 pour le point où l'aréomètre flottait dans l'acide sulfurique (SO^3, HO), donnée admise plus tard par Guyton de Morveau, par Darcet, Vauquelin. Vauquelin attribuait à l'acide sulfurique la densité $D = 1,842$, l'eau distillée étant prise pour l'unité à 12° Réaumur. Gay-Lussac trouva que cette densité était de 1,8427 à 15°. Il forma donc une table dans laquelle, à 15° centigrades :

66° correspondait à la densité 1,8427

0° — — — 1 de l'eau distillée à 15°, ce qui donne à l'aréomètre de Gay-Lussac le module :

$$N = 144,32$$

Cette température était choisie comme celle à laquelle il était le plus facile, dans tous les cas, de se rapprocher dans les conditions ordinaires de travail des laboratoires, tandis que, en réalité, la température de l'eau à son maximum de densité, c'est-à-dire 4°, serait la plus normale. Gay-Lussac faisait donc sciemment une erreur en mettant 1 comme densité de l'eau à 15°.

D'après les différentes expériences de Baumé sur l'alcool, on a lieu de croire que son module était :

$$N = 144,004$$

Quoi qu'il en soit, le nombre de Gay-Lussac fut adopté par le plus grand nombre des fabricants d'aréomètres, et c'est encore l'aréomètre de Gay-Lussac qui prévaut de nos jours et qu'il est nécessaire aux industriels d'exiger des fabricants.

Ajoutons cependant que beaucoup d'aréomètres ont été construits sur les bases de :

$$D = \frac{144}{144 - n} \text{ à } 15^\circ \text{ pour les aréomètres de Baumé,}$$

$$D = \frac{132}{122 + n} \text{ à } 15^\circ \quad \text{---} \quad \text{de Cartier}$$

et que cette différence dans les modules est très sensible. Celui de Gay-Lussac seul, encore une fois, est considéré comme exact.

Nous donnons p. 909 la table comparative des degrés de l'aréomètre de Baumé, avec la densité, selon Gay-Lussac; nous donnons celle de Balling, afin que l'on puisse en tous les cas se rapporter aux travaux allemands et les expliquer.

§ 4. — Dosage du sucre par les aréomètres.

Nous venons de voir que les tables de Balling et de Brix ont la prétention d'indiquer exactement la quantité de sucre pur contenue dans une dissolution.

Mais ces tables sont fausses parce qu'elles indiquent qu'à une température de 17°,5 l'eau a une densité de 1. De plus on a vérifié depuis les chiffres de ces tables et on a dû les corriger quelque peu.

La nécessité s'est fait sentir aussi d'établir ces tables de densité de manière à avoir, pour une densité donnée, le poids de sucre dissous dans un litre de liquide, en même temps que dans 1 kilogramme de ce liquide.

En 1887, Courtonne a publié une table de concordance des degrés de l'aréomètre Baumé avec le poids du litre d'eau pesé dans l'air à la pression normale de 760 à la température de 12°,5, en prenant le degré Baumé tel que Berthelot l'a établi.

Nous possédions déjà des tables de Vivien donnant le poids du sucre pur par hectolitre de dissolution; mais elles marquaient 1 kilogramme pour le poids du litre d'eau à 15°. Elles ont dû être corrigées. Pellet a donné la même table à 4°. Enfin Barbet a fourni une table analogue donnant le poids réel à 15° d'une dissolution de sucre pur dont on connaît la teneur en sucre, d'où il a formé une autre table indiquant la teneur en sucre pur dissous dans un litre de dissolution de poids donné à 15°.

Toutes ces tables ont enfin été mises en concordance par Dupont, dont nous allons donner les tables généralement acceptées aujourd'hui dans la sucrerie Française.

Ajoutons qu'en Allemagne Scheibler avait établi aussi une table basée sur les mesures françaises et qui diffère peu des tables de Dupont.

Comparaison entre les degrés saccharométriques (Brix-Dupont et Vivien)
les poids spécifiques et les degrés Baumé
pour les dissolutions de sucre à la température de 15° C.

Degrés Brix-Dupont sucre % gr.	Degrés Vivien sucre % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé		Degrés Brix-Dupont sucre % gr.	Degrés Vivien sucre % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé	
			Nouveaux corrigés	Anciens				Nouveaux corrigés	Anciens
0.0	0.0	0.99916	0.0	0.0	5.7	5.83	1.022	3.25	3.1
0.1	0.1	0.99925	0.1	0.1	5.8	5.93	1.022	3.3	3.2
0.2	0.2	0.99989	0.1	0.1	5.9	6.03	1.023	3.4	3.3
0.3	0.3	1.000	0.2	0.2	6 »	6.13	1.023	3.45	3.3
0.4	0.4	1.000	0.2	0.2					
0.5	0.5	1.001	0.3	0.3	6.1	6.23	1.024	3.5	3.4
0.6	0.6	1.001	0.3	0.3	6.2	6.33	1.024	3.5	3.4
0.7	0.7	1.002	0.4	0.4	6.3	6.44	1.025	3.55	3.4
0.8	0.8	1.002	0.4	0.4	6.4	6.56	1.025	3.6	3.5
0.9	0.9	1.003	0.5	0.5	6.5	6.66	1.025	3.7	3.6
1 »	1 »	1.003	0.6	0.55	6.6	6.77	1.026	3.8	3.7
					6.7	6.87	1.026	3.85	3.7
1.1	1.1	1.003	0.6	0.6	6.8	6.98	1.026	3.9	3.8
1.2	1.2	1.003	0.65	0.65	6.9	7.08	1.027	3.9	3.8
1.3	1.3	1.004	0.7	0.7	7 »	7.19	1.027	3.95	3.85
1.4	1.4	1.004	0.75	0.75					
1.5	1.5	1.004	0.8	0.8	7.1	7.30	1.027	4 »	3.9
1.6	1.6	1.005	0.9	0.9	7.2	7.40	1.028	4.1	4 »
1.7	1.7	1.005	0.9	1.0	7.3	7.50	1.028	4.1	4 »
1.8	1.82	1.006	1 »	1.0	7.4	7.61	1.028	4.2	4.1
1.9	1.92	1.006	1.1	1.1	7.5	7.71	1.029	4.2	4.1
2 »	2.02	1.007	1.1	1.1	7.6	7.82	1.029	4.3	4.2
					7.7	7.93	1.029	4.35	4.25
2.1	2.12	1.007	1.2	1.2	7.8	8.04	1.030	4.4	4.3
2.2	2.22	1.008	1.2	1.2	7.9	8.15	1.030	4.5	4.4
2.3	2.32	1.008	1.3	1.3	8 »	8.25	1.031	4.5	4.4
2.4	2.42	1.008	1.3	1.3					
2.5	2.52	1.009	1.4	1.4	8.1	8.35	1.031	4.6	4.5
2.6	2.62	1.009	1.5	1.4	8.2	8.45	1.032	4.6	4.5
2.7	2.73	1.009	1.5	1.5	8.3	8.57	1.032	4.7	4.6
2.8	2.84	1.010	1.5	1.5	8.4	8.68	1.032	4.7	4.6
2.9	2.94	1.010	1.6	1.6	8.5	8.79	1.033	4.8	4.7
3 »	3.04	1.010	1.7	1.75	8.6	8.89	1.033	4.85	4.75
					8.7	8.99	1.033	4.9	4.8
3.1	3.14	1.011	1.7	1.7	8.8	9.11	1.034	4.95	4.85
3.2	3.24	1.012	1.8	1.7	8.9	9.22	1.035	5 »	4.9
3.3	3.35	1.012	1.8	1.8	9 »	9.32	1.035	5.1	5 »
3.4	3.45	1.012	1.9	1.9					
3.5	3.55	1.013	1.9	1.9	9.1	9.4	1.035	5.2	5.05
3.6	3.65	1.013	2 »	2 »	9.2	9.5	1.036	5.2	5.1
3.7	3.76	1.014	2.1	2 »	9.3	9.6	1.036	5.3	5.15
3.8	3.86	1.014	2.1	2.1	9.4	9.75	1.037	5.3	5.2
3.9	3.97	1.014	2.2	2.2	9.5	9.86	1.037	5.4	5.25
4 »	4.07	1.014	2.2	2.2	9.6	9.97	1.037	5.4	5.3
					9.7	10.08	1.038	5.45	5.35
4.1	4.18	1.015	2.3	2.3	9.8	10.18	1.038	5.5	5.4
4.2	4.28	1.015	2.4	2.3	9.9	10.28	1.038	5.55	5.45
4.3	4.38	1.016	2.4	2.4	10 »	10.39	1.039	5.6	5.5
4.4	4.48	1.016	2.5	2.45					
4.5	4.58	1.017	2.55	2.50	10.1	10.50	1.039	5.7	5.6
4.6	4.69	1.017	2.6	2.55	10.2	10.60	1.040	5.7	5.6
4.7	4.79	1.017	2.6	2.6	10.3	10.71	1.040	5.8	5.7
4.8	4.89	1.018	2.7	2.65	10.4	10.82	1.040	5.85	5.75
4.9	4.99	1.018	2.8	2.7	10.5	10.93	1.041	5.9	5.80
5 »	5.10	1.018	2.9	2.8	10.6	11.04	1.042	6 »	5.85
					10.7	11.16	1.042	6.1	5.9
5.1	5.2	1.019	3 »	2.9	10.8	11.27	1.042	6.1	6 »
5.2	5.3	1.019	3 »	2.9	10.9	11.37	1.043	6.15	6 »
5.3	5.4	1.020	3.05	2.9	11 »	11.48	1.043	6.2	6.1
5.4	5.51	1.020	3.1	2.95					
5.5	5.61	1.021	3.1	3.1	11.1	11.59	1.043	6.2	6.1
5.6	5.72	1.021	3.2	3.1	11.2	11.71	1.044	6.3	6.2

Degrés Brix-Dupont sacré % gr.	Degrés Vivien sacré % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé		Degrés Brix-Dupont sacré % gr.	Degrés Vivien sacré % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé	
			Nouveaux corrigés	Anciens				Nouveaux corrigés	Anciens
11.3	11.84	1.044	6.4	6.25	17.4	18.64	1.070	9.8	9.6
11.4	11.91	1.045	6.45	6.30	17.5	18.75	1.071	9.9	9.7
11.5	12.02	1.045	6.5	6.35	17.6	18.86	1.072	9.9	9.75
11.6	12.13	1.045	6.55	6.40	17.7	18.98	1.073	10 »	9.8
11.7	12.25	1.046	6.6	6.50	17.8	19.09	1.073	10 »	9.85
11.8	12.36	1.046	6.65	6.55	17.9	19.20	1.073	10 »	9.9
11.9	12.48	1.046	6.7	6.6	18 »	19.33	1.073	10.1	9.9
12 »	12.57	1.047	6.75	6.65					
12.1	12.68	1.048	6.8	6.7	18.1	19.45	1.073	10.1	9.9
12.2	12.79	1.048	6.85	6.75	18.2	19.56	1.073	10.2	10 »
12.3	12.90	1.048	6.95	6.8	18.3	19.60	1.073	10.2	10 »
12.4	13.02	1.049	7 »	6.85	18.4	19.78	1.074	10.3	10.1
12.5	13.14	1.050	7.1	6.9	18.5	19.89	1.075	10.4	10.2
12.6	13.23	1.050	7.15	6.95	18.6	20.00	1.075	10.4	10.2
12.7	13.33	1.050	7.2	7 »	18.7	20.12	1.075	10.5	10.2
12.8	13.46	1.051	7.2	7 »	18.8	20.24	1.076	10.5	10.3
12.9	13.59	1.051	7.2	7.1	18.9	20.36	1.076	10.6	10.3
13 »	13.66	1.051	7.3	7.2	19 »	20.47	1.077	10.6	10.4
13.1	13.79	1.052	7.4	7.25	19.1	20.58	1.077	10.6	10.5
13.2	13.89	1.052	7.4	7.3	19.2	20.69	1.077	10.7	10.6
13.3	14.02	1.053	7.5	7.35	19.3	20.81	1.078	10.7	10.6
13.4	14.12	1.053	7.5	7.4	19.4	20.92	1.078	10.8	10.7
13.5	14.23	1.054	7.6	7.45	19.5	21.03	1.079	10.9	10.7
13.6	14.34	1.054	7.6	7.5	19.6	21.15	1.079	11 »	10.8
13.7	14.44	1.054	7.7	7.55	19.7	21.27	1.080	11.1	10.9
13.8	14.53	1.055	7.75	7.6	19.8	21.38	1.080	11.1	10.9
13.9	14.66	1.055	7.8	7.65	19.9	21.59	1.081	11.1	11 »
14 »	14.77	1.056	7.9	7.7	20 »	21.60	1.081	11.2	11 »
14.1	14.89	1.056	7.9	7.9	20.2	21.85	1.082	11.3	11.1
14.2	15 »	1.056	8 »	7.9	20.4	22.09	1.083	11.4	11.2
14.3	15.12	1.057	8.1	7.9	20.5	22.21	1.084	11.5	11.3
14.4	15.23	1.058	8.2	7.9	20.6	22.33	1.084	11.6	11.4
14.5	15.35	1.058	8.1	8 »	20.8	22.57	1.085	11.7	11.5
14.6	15.45	1.058	8.3	8 »	21 »	22.81	1.085	11.8	11.6
14.7	15.56	1.059	8.3	8.1	21.2	23.05	1.086	11.8	11.6
14.8	15.67	1.059	8.35	8.2	21.4	23.29	1.087	11.9	11.7
14.9	15.78	1.059	8.4	8.2	21.5	23.40	1.088	12 »	11.8
15 »	15.90	1.060	8.4	8.3	21.6	23.50	1.088	12.1	11.9
15.1	16 »	1.060	8.5	8.3	21.8	23.75	1.089	12.25	12 »
15.2	16.13	1.060	8.5	8.4	22 »	24 »	1.090	12.3	12.1
15.3	16.23	1.061	8.55	8.4					
15.4	16.35	1.061	8.6	8.5	22.2	24.24	1.091	12.4	12.2
15.5	16.47	1.062	8.6	8.55	22.4	24.47	1.091	12.5	12.3
15.6	16.58	1.062	8.7	8.6	22.5	24.59	1.092	12.6	12.4
15.7	16.70	1.063	8.8	8.65	22.6	24.71	1.092	12.7	12.5
15.8	16.81	1.063	8.9	8.7	22.8	24.95	1.093	12.8	12.5
15.9	16.93	1.064	8.95	8.75	23 »	25.20	1.094	12.85	12.6
16 »	17.04	1.064	9.0	8.8	23.2	25.43	1.095	12.9	12.7
16.1	17.16	1.064	9 »	8.8	23.4	25.67	1.096	13 »	12.8
16.2	17.26	1.065	9.1	8.85	23.5	25.79	1.097	13.1	12.9
16.3	17.37	1.066	9.2	7 »	23.6	25.90	1.098	13.2	13 »
16.4	17.49	1.066	9.3	9.05	23.8	26.15	1.099	13.3	13.1
16.5	17.60	1.067	9.3	9.01	24 »	26.40	1.100	13.5	13.2
16.6	17.72	1.067	9.35	9.15					
16.7	17.83	1.067	9.4	9.2	24.2	26.63	1.101	13.6	13.3
16.8	17.96	1.068	9.4	9.25	24.4	26.88	1.102	13.7	13.4
16.9	18.07	1.068	9.5	9.3	24.5	27 »	1.103	13.7	13.5
17 »	18.18	1.069	9.55	9.35	24.6	27.12	1.103	13.8	13.6
17.1	18.29	1.069	9.55	9.35	24.8	27.37	1.104	13.9	13.7
17.2	18.40	1.070	9.6	9.45	25 »	27.62	1.104	14 »	13.8
17.3	18.53	1.070	9.7	9.55	25.2	28.06	1.105	14.1	13.9
					25.4	28.12	1.106	14.2	14 »

Degrés Brix - Duzont sucre % gr.	Degrés Vivion sucre % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé		Degrés Brix - Duzont sucre % gr.	Degrés Vivion sucre % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé	
			Nouveaux corrigés	Anciens				Nouveaux corrigés	Anciens
25,5	28,24	1,107	14,3	14,1	35,2	40,75	1,157	20,2	19,7
25,6	28,36	1,107	14,4	14,2	35,4	41,02	1,158	20,3	19,8
25,8	28,61	1,108	14,6	14,3	35,5	41,15	1,158	20,3	19,9
26,0	28,86	1,108	14,7	14,4	35,6	41,30	1,159	20,4	20,0
26,2	29,11	1,110	14,8	14,5	35,8	41,65	1,160	20,5	20,1
26,4	29,36	1,111	14,9	14,6	36,0	41,82	1,161	20,6	20,2
26,6	29,49	1,112	15,0	14,7	36,2	42,09	1,162	20,7	20,3
26,8	29,61	1,113	15,1	14,8	36,4	42,36	1,163	20,8	20,4
27,0	29,86	1,114	15,2	14,9	36,5	42,50	1,164	20,9	20,5
27,2	30,11	1,115	15,3	15,0	36,6	42,63	1,164	21,0	20,6
27,4	30,36	1,116	15,4	15,1	36,8	42,90	1,165	21,1	20,7
27,6	30,61	1,117	15,5	15,2	37,0	43,17	1,166	21,2	20,8
27,8	30,74	1,117	15,6	15,3	37,2	43,45	1,167	21,3	20,9
28,0	30,96	1,118	15,7	15,4	37,4	43,70	1,168	21,4	21,0
28,2	31,11	1,120	15,8	15,5	37,5	43,85	1,169	21,5	21,1
28,4	31,37	1,120	15,9	15,6	37,6	44,00	1,170	21,6	21,2
28,6	31,62	1,121	16,0	15,7	37,8	44,25	1,171	21,7	21,3
28,8	31,88	1,122	16,1	15,8	38,0	44,52	1,171	21,8	21,4
29,0	32,13	1,122	16,2	15,9	38,2	44,80	1,172	21,9	21,5
29,2	32,43	1,123	16,3	16,0	38,4	45,07	1,173	22,0	21,6
29,4	32,39	1,124	16,4	16,1	38,5	45,21	1,174	22,1	21,7
29,6	32,64	1,125	16,5	16,2	38,6	45,35	1,175	22,2	21,8
29,8	32,90	1,126	16,6	16,3	38,8	45,63	1,176	22,3	21,9
30,0	33,16	1,127	16,7	16,4	39,0	45,90	1,176	22,4	22,0
30,2	33,29	1,128	16,8	16,5	39,2	46,17	1,177	22,5	22,1
30,4	33,42	1,129	16,9	16,6	39,4	46,45	1,178	22,6	22,2
30,6	33,68	1,130	17,0	16,7	39,5	46,58	1,179	22,7	22,3
30,8	33,94	1,131	17,1	16,8	39,6	46,72	1,180	22,8	22,4
31,0	34,20	1,132	17,2	16,9	39,8	47,00	1,181	22,9	22,5
31,2	34,46	1,133	17,3	17,0	40,0	47,27	1,182	23,0	22,6
31,4	34,59	1,134	17,4	17,1	40,2	47,55	1,183	23,1	22,7
31,6	34,72	1,135	17,5	17,2	40,4	47,82	1,183	23,2	22,8
31,8	34,98	1,136	17,6	17,3	40,5	47,95	1,184	23,3	22,9
32,0	35,25	1,137	17,7	17,4	40,6	48,10	1,185	23,4	23,0
32,2	35,53	1,138	17,8	17,5	40,8	48,40	1,186	23,5	23,1
32,4	35,81	1,139	17,9	17,6	41,0	48,56	1,187	23,6	23,2
32,6	36,05	1,139	18,0	17,7	41,2	48,95	1,188	23,7	23,3
32,8	36,30	1,140	18,1	17,8	41,4	49,22	1,188	23,8	23,4
33,0	36,56	1,141	18,2	17,9	41,5	49,35	1,189	23,9	23,5
33,2	36,84	1,141	18,3	18,0	41,6	49,40	1,190	24,0	23,6
33,4	37,10	1,142	18,4	18,1	41,8	49,80	1,191	24,1	23,7
33,6	37,36	1,143	18,5	18,2	42,0	50,07	1,192	24,2	23,8
33,8	37,60	1,144	18,6	18,3	42,2	50,35	1,193	24,3	23,9
34,0	37,85	1,145	18,7	18,4	42,4	50,63	1,193	24,4	24,0
34,2	38,10	1,146	18,8	18,5	42,5	50,77	1,194	24,5	24,1
34,4	38,35	1,147	18,9	18,6	42,6	50,90	1,195	24,6	24,2
34,6	38,60	1,148	19,0	18,7	42,8	51,20	1,196	24,7	24,3
34,8	38,85	1,149	19,1	18,8	43,0	51,47	1,197	24,8	24,4
35,0	39,10	1,149	19,2	18,9	43,2	51,76	1,198	24,9	24,5
35,2	39,35	1,150	19,3	19,0	43,4	52,05	1,198	25,0	24,6
35,4	39,60	1,150	19,4	19,1	43,5	52,20	1,199	25,1	24,7
35,6	39,84	1,151	19,5	19,2	43,6	52,35	1,200	25,2	24,8
35,8	40,09	1,152	19,6	19,3	43,8	52,83	1,201	25,3	24,9
36,0	40,30	1,153	19,7	19,4	44,0	52,92	1,202	25,4	25,0
36,2	40,55	1,153	19,8	19,5	44,2	53,20	1,203	25,5	25,1
36,4	40,80	1,154	19,9	19,6	44,4	53,50	1,204	25,6	25,2
36,6	41,05	1,156	20,0	19,7	44,5	53,63	1,205	25,7	25,3
36,8	41,30	1,156	20,1	19,8	44,6	53,78	1,206	25,8	25,4

Degrés Baumé Brix-Duport sucres % gr.	Degrés Vivien sucres % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé		Degrés Brix-Duport sucres % gr.	Degrés Vivien sucres % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé	
			Nouveaux corrigés	Anciens				Nouveaux corrigés	Anciens
44,8	54,06	1,207	25,4	24,8	54,8	69 »	1,258	30,1	29,5
45 »	54,35	1,208	25,4	24,9	55 »	69,30	1,259	30,2	29,6
45,2	54,65	1,208	25,5	25 »	55,2	69,60	1,260	30,3	29,7
45,4	54,93	1,209	25,6	25,1	55,4	69,95	1,261	30,4	29,8
45,5	55,08	1,210	25,6	25,1	55,5	70,10	1,262	30,5	29,9
45,6	55,22	1,211	25,7	25,2	55,6	70,25	1,263	30,6	30 »
45,8	55,50	1,212	25,8	25,3	55,8	70,60	1,264	30,7	30,1
45 »	55,80	1,213	25,9	25,4	56 »	70,90	1,264	30,8	30,2
46,2	56,10	1,214	26 »	25,5	56,2	71,20	1,265	30,8	30,3
46,4	56,40	1,215	26,1	25,6	56,4	71,55	1,266	31,05	30,4
46,5	56,54	1,216	26,2	25,7	56,5	71,70	1,267	31,2	30,5
46,6	56,68	1,216	26,3	25,8	56,6	71,85	1,268	31,2	30,6
46,8	56,97	1,217	26,4	25,9	56,8	72,17	1,269	31,5	30,7
47 »	57,27	1,218	26,5	26 »	57 »	72,48	1,270	31,4	30,8
47,2	57,57	1,219	26,6	26,1	57,2	72,80	1,271	31,5	30,9
47,4	57,86	1,220	26,6	26,1	57,4	73,30	1,272	31,6	31 »
47,5	58,00	1,221	26,7	26,2	57,5	73,30	1,273	31,7	31,1
47,6	58,16	1,222	26,8	26,3	57,6	73,45	1,274	31,8	31,2
47,8	58,46	1,222	26,9	26,4	57,8	73,75	1,275	31,8	31,2
48 »	58,75	1,223	27 »	26,5	58 »	74,10	1,276	31,9	31,3
48,2	59,05	1,224	27,1	26,6	58,2	74,40	1,276	31,9	31,3
48,4	59,34	1,225	27,2	26,7	58,4	74,75	1,277	32 »	31,4
48,5	59,50	1,226	27,3	26,8	58,5	74,90	1,278	32,1	31,5
48,6	59,64	1,227	27,3	26,8	58,6	75,05	1,279	32,2	31,6
48,8	59,94	1,228	27,4	26,9	58,8	75,40	1,280	32,3	31,7
49 »	60,23	1,229	27,5	27 »	59 »	75,70	1,281	32,4	31,8
49,2	60,53	1,230	27,6	27,1	59,2	76 »	1,282	32,5	31,9
49,4	60,84	1,231	27,7	27,2	59,4	76,35	1,283	32,6	32 »
49,5	61,00	1,232	27,7	27,2	59,5	76,50	1,284	32,7	32,05
49,6	61,14	1,233	27,8	27,3	59,6	76,70	1,285	32,7	32,1
49,8	61,45	1,234	27,9	27,4	59,8	77 »	1,286	32,8	32,2
50 »	61,75	1,235	28 »	27,5	60 »	77,35	1,287	32,9	32,3
50,2	62,05	1,236	28,1	27,6	60,2	77,65	1,289	33 »	32,4
50,4	62,35	1,237	28,2	27,7	60,4	78 »	1,290	33,2	32,5
50,5	62,50	1,238	28,3	27,8	60,5	78,15	1,291	33,2	32,6
50,6	62,67	1,238	28,4	27,9	60,6	78,33	1,292	33,35	32,6
50,8	62,97	1,239	28,5	28,0	60,8	78,66	1,293	33,45	32,7
51 »	63,28	1,240	28,6	28,1	61 »	78,99	1,293	33,5	32,8
51,2	63,59	1,241	28,6	28,1	61,2	79,30	1,294	33,6	33,9
51,4	63,90	1,242	28,7	28,2	61,4	79,65	1,295	33,6	33 »
51,5	64,05	1,243	28,8	28,2	61,5	79,80	1,296	33,7	33,1
51,6	64,21	1,244	28,9	28,3	61,6	80,00	1,297	33,8	33,2
51,8	64,52	1,244	28,9	28,3	61,8	80,33	1,298	33,9	33,3
52 »	64,74	1,245	28,9	28,4	62 »	80,65	1,299	34 »	33,3
52,2	64,96	1,245	29,0	28,4	62,2	81,00	1,300	34,1	33,4
52,4	65,27	1,245	29 »	28,4	62,4	81,33	1,301	34,1	33,5
52,5	65,34	1,246	29,1	28,5	62,5	81,50	1,302	34,2	33,5
52,6	65,58	1,247	29,2	28,6	62,6	81,65	1,303	34,2	33,6
52,8	65,90	1,248	29,3	28,7	62,8	82,00	1,304	34,4	33,7
53 »	66,22	1,248	29,3	28,7	63 »	82,35	1,305	34,4	33,8
53,2	66,59	1,249	29,3	28,7	63,2	82,65	1,306	34,5	33,9
53,4	66,83	1,250	29,4	28,8	63,4	83,00	1,307	34,6	34 »
53,5	66,98	1,251	29,5	28,9	63,5	83,16	1,308	34,7	34,1
53,6	67,13	1,252	29,6	29 »	63,6	83,35	1,309	34,85	34,2
53,8	67,45	1,253	29,7	29,1	63,8	83,70	1,310	34,9	34,2
54 »	67,75	1,254	29,7	29,2	64 »	84,00	1,311	35 »	34,3
54,2	68,05	1,255	29,8	29,3	64,2	84,35	1,312	35,1	34,4
54,4	68,35	1,256	29,9	29,4	64,4	84,70	1,313	35,2	34,5
54,5	68,50	1,256	30 »	29,5	64,5	84,90	1,314	35,3	34,6
54,6	68,65	1,257	30,1	29,5	64,6	85,05	1,315	35,3	34,6

Degrés Brix-Duport sucre % Gr.	Degrés Vivien sucre % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé		Degrés Brix-Duport sucre % Gr.	Degrés Vivien sucre % cc.	Densité réelle ou poids du litre à 15°	Degrés Baumé	
			Nouveaux corrigés	Anciens				Nouveaux corrigés	Anciens
64.8	85.40	1.316	35.4	34.7	74.2	102.15	1.374	40.1	39.4
65 »	85.70	1.317	35.5	34.8	74.4	102.50	1.375	40.2	39.5
65.2	86 »	1.318	35.6	34.9	74.5	102.70	1.376	40.3	39.5
65.4	86.40	1.319	35.7	35 »	74.6	102.88	1.377	40.4	39.6
65.5	86.60	1.320	35.8	35.1	74.8	103.25	1.378	40.5	39.7
65.6	86.30	1.321	35.8	35.15	75 »	103.60	1.379	40.6	39.8
65.8	87.15	1.322	35.9	35.25					
66 »	87.50	1.323	36 »	35.35	75.2	104.00	1.380	40.7	39.9
66.2	87.80	1.324	36.1	35.5	75.4	104.35	1.382	40.7	40 »
66.4	88.15	1.325	36.2	35.5	75.5	104.55	1.383	40.7	40.1
66.5	88.35	1.326	36.3	35.6	75.6	104.75	1.384	40.8	40.1
66.6	88.30	1.327	36.3	35.7	75.8	105.10	1.385	40.9	40.2
66.6	88.30	1.327	36.3	35.7	76 »	105.50	1.386	41 »	40.3
66.8	88.85	1.328	36.4	35.8					
67 »	89.20	1.329	36.5	35.9	76.2	105.88	1.387	41.1	40.4
67.2	89.55	1.330	36.6	36 »	76.4	106.25	1.388	41.2	40.5
67.4	89.90	1.331	36.7	36 »	76.5	106.40	1.389	41.3	40.6
67.5	90.05	1.332	36.75	36.1	76.6	106.60	1.390	41.4	40.6
67.6	90.25	1.333	36.8	36.2	76.8	107 »	1.392	41.5	40.7
67.8	90.55	1.334	36.9	36.3	77 »	107.39	1.393	41.6	40.8
68 »	90.95	1.335	37 »	36.3					
68.2	91.30	1.336	37.1	36.4	77.2	107.75	1.394	41.7	40.9
68.4	91.65	1.337	37.2	36.5	77.4	108.15	1.395.6	41.8	41 »
68.5	91.80	1.338	37.3	36.6	77.5	108.35	1.396	41.9	41 »
68.6	92.00	1.339	37.4	36.6	77.6	108.55	1.397	42 »	41.2
68.8	92.35	1.340	37.4	36.7	77.8	108.90	1.398	42 »	41.2
69 »	92.70	1.341	37.5	36.8	78 »	109.30	1.399	42.1	41.3
69.2	93.05	1.342	37.6	36.9	78.2	109.70	1.400	42.2	41.4
69.4	93.40	1.343.5	37.8	37 »	78.4	110.05	1.401	42.3	41.5
69.5	93.60	1.344	37.9	37.1	78.5	110.30	1.402	42.3	41.5
69.6	93.75	1.345	37.9	37.2	78.6	110.45	1.403	42.4	41.6
69.8	94.10	1.346	38 »	37.3	78.8	110.85	1.404	42.5	41.7
70 »	94.50	1.347	38.1	37.4	79 »	111.25	1.405	42.6	41.8
70.2	94.85	1.348	38.2	37.5	79.2	111.60	1.406	42.6	41.8
70.4	95.20	1.349	38.2	37.5	79.4	112 »	1.407	42.7	41.9
70.5	95.40	1.350	38.3	37.6	79.5	112.20	1.409	42.8	42 »
70.6	95.55	1.351	38.4	37.7	79.6	112.40	1.410	42.9	42.1
70.8	95.90	1.352	38.5	37.8	79.8	112.80	1.411	43 »	42.1
71 »	96.30	1.353	38.5	37.8	80 »	113.15	1.412	43.1	42.2
71.2	96.65	1.354	38.6	37.9	80.2	113.55	1.413	43.2	42.3
71.4	97 »	1.355	38.7	38 »	80.4	113.95	1.414	43.3	42.4
71.5	97.20	1.356	38.8	38 »	80.5	114.15	1.416	43.3	42.5
71.6	97.40	1.357	38.8	38.1	80.6	114.40	1.417	43.4	42.6
71.8	97.75	1.358	38.9	38.2	80.8	114.70	1.418	43.5	42.7
72 »	98.10	1.359	39 »	38.3	81 »	115.15	1.420	43.6	42.7
72.2	98.45	1.360	39.1	38.4	81.2	115.57	1.421	43.7	42.9
72.4	98.86	1.362	39.2	38.5	81.4	115.95	1.423	43.8	43 »
72.5	99 »	1.363	39.3	38.6	81.5	116.15	1.424	43.9	43.1
72.6	99.20	1.364	39.4	38.6	81.6	116.35	1.425	44 »	43.2
72.8	99.35	1.365	39.5	38.7	81.8	116.75	1.426	44.1	43.2
73 »	99.90	1.367	39.6	38.8	82 »	117.15	1.427	44.1	43.3
73.2	100.30	1.368	39.6	38.9	82.2	117.55	1.428	44.2	43.3
73.4	100.65	1.369	39.7	39 »	82.4	117.90	1.429	44.3	43.4
73.5	100.84	1.370	39.8	39 »	82.5	118.15	1.430	44.3	43.4
73.6	101.05	1.371	39.8	39.1	82.6	118.30	1.431	44.4	43.5
73.8	101.40	1.372	39.9	39.2	82.8	118.70	1.432	44.5	43.7
74 »	101.75	1.373	40 »	39.3	83 »	119.10	1.434	44.6	43.7

COMPARAISON DES DEGRÉS SACCHARIMÉTRIQUES BALLING AVEC LES DEGRÉS BAUMÉ (A 17°, 5 c.)

°/° BALLING	BAUMÉ	POIDS Spécif.	°/° BALLING	BAUMÉ	POIDS Spécif.	°/° BALLING	BAUMÉ	POIDS Spécif.
1	0,56	1,0039	35	19,23	1,1541	69	36,91	1,3446
2	1,11	0078	36	19,77	1591	70	37,40	3509
3	1,67	0117	37	20,30	1641	71	37,90	3572
4	2,23	0157	38	20,84	1692	72	38,39	3636
5	2,78	0197	39	21,37	1743	73	38,89	3700
6	3,34	0237	40	21,91	1794	74	39,38	3764
7	3,89	0278	41	22,44	1846	75	39,87	3829
8	4,45	0319	42	22,97	1898	76	40,36	3894
9	5,00	0360	43	23,50	1950	77	40,84	3959
10	5,56	0401	44	24,03	2003	78	41,33	4025
11	6,11	0443	45	24,56	2056	79	41,81	4092
12	6,66	0485	46	25,09	2110	80	42,29	4159
13	7,22	0528	47	25,62	2164	81	42,78	4226
14	7,77	0570	48	26,14	2218	82	43,25	4293
15	8,32	0613	49	26,67	2273	83	43,73	4361
16	8,87	0657	50	27,19	2328	84	44,21	4430
17	9,42	0700	51	27,71	2383	85	44,68	4499
18	9,97	0744	52	28,24	2439	86	45,15	4568
19	10,52	0787	53	28,75	2495	87	45,62	4638
20	11,07	0833	54	29,27	2552	88	46,09	4708
21	11,62	0878	55	29,79	2609	89	46,56	4778
22	12,17	0923	56	30,31	2666	90	47,02	4849
23	12,72	0969	57	30,82	2724	91	47,48	4921
24	13,26	1015	58	31,34	2782	92	47,95	4992
25	13,81	1061	59	31,85	2840	93	48,40	5064
26	14,35	1107	60	32,36	2899	94	48,85	5136
27	14,90	1154	61	32,87	2958	95	49,32	5209
28	15,44	1201	62	33,38	3018	96	49,77	5281
29	15,99	1249	63	33,89	3078	97	50,22	5355
30	16,53	1297	64	34,40	3138	98	50,67	5429
31	17,07	1345	65	34,90	3199	99	51,12	5504
32	17,61	1393	66	35,40	3260	100	51,56	5578
33	18,15	1442	67	35,90	3322			
34	18,69	1491	68	36,41	3384			

TABLE COMPARATIVE DES DEGRÉS DE L'ARÉOMÈTRE DE BAUMÉ
avec la densité à 15° cent. selon Gay-Lussac.

DEGRÉS BAUMÉ	DENSITÉ	DEGRÉS BAUMÉ	DENSITÉ	DEGRÉS BAUMÉ	DENSITÉ	DEGRÉS BAUMÉ	DENSITÉ
0	1,0000	19	1,1516	38	1,3574	57	1,6529
1	1,0069	20	1,1608	39	1,3703	58	1,6720
2	1,0140	21	1,1702	40	1,3834	59	1,6916
3	1,0242	22	1,1798	41	1,3968	60	1,7116
4	1,0285	23	1,1896	42	1,4105	61	1,7322
5	1,0358	24	1,1994	43	1,4244	62	1,7532
6	1,0434	25	1,2095	44	1,4386	63	1,7748
7	1,0509	26	1,2198	45	1,4531	64	1,7969
8	1,0587	27	1,2301	46	1,4678	65	1,8195
9	1,0665	28	1,2407	47	1,4828	66	1,8428
10	1,0744	29	1,2515	48	1,4981	67	1,8666
11	1,0825	30	1,2624	49	1,5141	68	1,8911
12	1,0907	31	1,2736	50	1,5301	69	1,9162
13	1,0990	32	1,2849	51	1,5466	70	1,9420
14	1,1074	33	1,2965	52	1,5633	71	1,9687
15	1,1160	34	1,3082	53	1,5804	72	1,9957
16	1,1247	35	1,3202	54	1,5978	73	2,0237
17	1,1335	36	1,3324	55	1,6158	74	2,0525
18	1,1425	37	1,3447	56	1,6342	75	2,0821

Table de correction des densités suivant les températures

Températures en degrés centigr.	50	50.1	50.2	50.3	50.4	50.5	50.6	50.7	50.8	50.9	60	60.1	60.2	60.3	60.4	60.5
10	4.725	4.825	4.925	5.035	5.125	5.225	5.325	5.45	5.55	5.65	5.725	5.825	5.925	6.025	6.125	6.225
2.	4.725	4.85	4.95	5.05	5.150	4.250	5.350	5.45	5.55	5.65	5.75	5.85	5.95	6.05	6.15	6.25
3.	4.75	4.85	4.95	5.05	5.15	5.275	5.375	5.475	5.575	5.675	5.75	5.85	5.95	6.05	6.15	6.25
4.	4.75	4.875	4.975	5.075	5.175	5.275	5.375	5.475	5.575	5.675	5.775	5.875	5.975	6.075	6.175	6.275
5.	4.775	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3
6.	4.8	4.9	5.0	5.1	5.225	5.325	5.425	5.525	5.625	5.725	5.825	5.925	6.025	6.125	6.225	6.325
7.	4.8	4.925	5.025	5.125	5.225	5.325	5.425	5.525	5.625	5.725	5.825	5.950	6.05	6.15	6.25	6.35
8.	4.825	4.95	5.05	5.15	5.25	5.35	5.45	5.550	5.65	6.75	5.85	5.95	6.05	6.15	6.25	6.35
9.	4.85	4.975	5.075	5.175	5.275	5.375	5.475	5.575	5.675	5.775	5.875	5.975	6.075	6.175	6.275	6.65
10	4.875	4.975	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.	6.1	6.2	6.3	6.4
11	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.525	5.625	5.725	5.825	5.925	6.025	6.125	6.225	6.325	6.425
12	4.925	5.025	5.125	5.225	5.325	5.425	5.525	5.625	5.725	5.825	5.925	6.05	6.15	6.25	6.35	6.45
13	4.950	5.05	5.15	5.25	5.35	5.45	5.55	5.65	5.75	5.85	5.95	6.05	6.15	6.25	6.375	6.475
14	4.975	5.075	5.175	5.275	5.375	5.475	5.575	5.675	5.775	5.875	5.975	6.075	6.175	6.275	6.375	6.475
15	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5
16	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.925	6.025	6.125	6.225	6.325	6.425	6.525
17	5.025	5.125	5.225	5.325	5.425	5.525	5.625	5.725	5.825	5.925	6.025	6.15	6.25	6.35	6.45	6.550
18	5.05	5.150	5.25	5.35	5.45	5.55	5.65	5.75	5.85	5.95	6.05	6.15	6.25	6.35	6.45	6.550
19	5.075	5.15	5.275	5.35	5.475	5.575	5.675	5.775	5.875	5.975	6.075	6.175	6.275	6.375	6.475	6.575
20	5.1	5.175	5.275	5.375	5.5	6.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6
21	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.025	6.125	6.225	6.325	6.425	6.525	6.625
22	5.125	5.225	5.325	5.425	5.525	5.625	5.725	5.825	5.925	6.025	6.15	6.25	6.35	6.45	6.55	6.650
23	5.15	5.250	5.35	5.45	5.55	5.65	5.750	5.85	5.95	6.05	6.175	6.275	6.375	6.475	6.575	6.675
24	5.175	5.275	5.375	5.475	5.575	5.675	5.775	5.875	5.975	6.075	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7
25	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.225	6.325	6.425	6.525	6.625	6.725
26	5.225	5.325	5.425	5.525	5.625	5.725	5.825	5.925	6.025	6.125	6.25	6.35	6.45	6.55	6.65	6.750
27	5.25	5.35	5.45	5.55	5.65	5.75	5.85	5.95	6.05	6.15	6.275	6.375	6.475	6.575	6.675	6.775
28	5.275	5.375	5.475	5.575	5.675	5.775	5.875	5.975	6.075	6.175	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8
29	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.325	6.425	6.525	6.625	6.725	6.825
30	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.925	6.025	6.125	6.225	6.35	6.45	6.55	6.65	6.75	6.850

Table de correction des densités suivant les températures

Température degré centigr.	606	607	608	609	70	701	702	703	704	705	706	707	708	709	80
10	6.325	6.425	6.525	6.625	6.725	6.825	6.925	7.	7.1	7.2	7.3	7.4	7.475	7.575	7.675
2.	6.35	6.450	6.55	6.65	6.75	6.85	6.95	7.025	7.125	7.225	7.325	7.425	7.5	7.6	7.7
3.	6.35	6.450	6.55	6.65	6.75	6.85	6.95	7.05	7.15	7.250	7.35	7.45	7.525	7.625	7.725
4.	6.375	6.475	6.575	6.675	6.775	6.875	6.975	7.075	7.175	7.275	7.375	7.475	7.55	7.65	7.75
5	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.575	7.675	7.775
6.	6.425	6.525	6.625	6.725	6.825	6.925	7.025	7.125	7.225	7.325	7.425	7.525	7.6	7.7	7.8
7.	6.45	6.55	6.65	6.75	6.85	6.95	7.05	7.15	7.25	7.35	7.45	7.55	7.625	7.725	7.825
8.	6.45	6.575	6.675	6.75	6.85	6.95	7.05	7.175	7.275	7.375	7.475	7.575	7.65	7.75	7.85
9.	6.475	6.575	6.675	6.775	6.875	6.975	7.075	7.175	7.275	7.375	7.475	7.575	7.675	7.775	7.875
10	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	7.	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9
11	6.525	6.625	6.725	6.825	6.925	7.025	7.125	7.225	7.325	7.425	7.525	7.625	7.725	7.825	7.925
12	6.55	6.65	6.75	6.85	6.95	7.05	7.15	7.25	7.35	7.45	7.55	7.65	7.750	7.85	7.95
13	6.575	6.675	6.75	6.875	6.975	7.075	7.175	7.275	7.375	7.475	7.575	7.675	7.775	7.875	7.975
14	6.575	6.675	6.775	6.875	6.975	7.075	7.175	7.275	7.375	7.475	7.575	7.675	7.775	7.	8.
15	6.6	6.7	6.8	6.9	7.	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.
16	6.625	6.725	6.825	6.925	7.025	7.125	7.225	7.325	7.425	7.525	7.625	7.725	7.825	7.925	8.025
17	6.65	6.750	6.850	6.950	7.050	7.150	7.250	7.350	7.45	7.55	7.65	7.75	7.85	7.95	8.05
18	6.65	6.750	6.850	6.950	7.075	7.175	7.275	7.375	7.475	7.575	7.675	7.775	7.875	7.975	8.075
19	6.675	6.775	6.875	6.975	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.	8.
20	6.7	6.8	6.9	7.	7.125	7.225	7.325	7.425	7.525	7.625	7.725	7.825	7.925	8.025	8.125
21	6.725	6.825	6.925	7.025	7.150	7.250	7.350	7.45	7.545	7.65	7.75	7.85	7.95	8.05	8.150
22	6.75	6.850	6.950	7.050	7.175	7.275	7.375	7.475	7.575	7.675	7.775	7.875	7.975	8.075	8.175
23	6.775	6.875	6.975	7.075	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.	8.1	8.2
24	6.8	6.9	7.	7.1	7.225	7.325	7.425	7.525	7.625	7.725	7.825	7.925	8.025	8.125	8.225
25	6.825	6.925	7.025	7.125	7.250	7.350	7.450	7.550	7.65	7.75	7.85	7.95	8.050	8.15	8.25
26	6.85	6.950	7.050	7.150	7.275	7.375	7.475	7.575	7.675	7.775	7.875	7.975	8.075	8.175	8.275
27	6.875	6.975	7.075	7.175	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.	8.1	8.2	8.3
28	6.9	7.	7.1	7.2	7.325	7.450	7.525	7.625	7.750	7.85	7.950	8.05	8.15	8.25	8.350
29	6.925	7.025	7.125	7.225	7.375	7.475	7.575	7.65	7.775	7.875	7.975	8.075	8.175	8.275	8.375
30	6.95	7.050	7.150	7.250	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.	8.1	8.2	8.3	8.4

Nous sommes donc actuellement en possession d'instruments et de tableaux concordants, indiquant directement la quantité de sucre contenue dans un liquide formé de sucre pur et d'eau pure. Or ce cas ne se rencontre jamais en fabrication, les liquides auxquels on a affaire contenant, outre du sucre, des sels et des matières organiques dissoutes. L'aréomètre plongé dans ces liquides donnera, dans tous les cas, l'indication approximative de la quantité de sucre qu'ils pourraient contenir, et en réalité, il indiquera la somme des matières dissoutes, chacune de ces matières devant être prise avec un coefficient particulier, car le même poids de différents corps dissous ne fait pas varier l'aréomètre de la même quantité, loin de là, ainsi :

A la densité 1,010, 1 litre de solution de sucre contient 28 gr de sucre
 — 1,010, — — sel — 14 — sel.

Donc l'indication aréométrique ne donne qu'une approximation des matières dissoutes. Il est donc indispensable d'avoir un procédé de dosage du sucre en présence de matières solubles, c'est le rôle de la saccharimétrie optique. Nous verrons ailleurs le parti que l'on peut tirer des indications aréométriques.

Dans les opérations journalières du laboratoire on se sert continuellement des *densimètres* et l'on se reporte aux tables que nous avons données pour établir le degré Brix ou Vivien des liquides en expérience, La température de ces liquides est extrêmement variable, et comme on n'a souvent ni le temps ni le moyen de les ramener à 15°, quoique ce soit préférable pour faire une expérience sérieuse, on doit faire une correction sur la lecture de l'aréomètre pour ramener son indication à ce qu'elle serait à 15.

Dupont a publié des tables pour faire rapidement ces corrections sans avoir recours au calcul. Nous les donnons ci-contre.

TITRE II

SACCHARIMÉTRIE OPTIQUE

Le dosage du sucre dans un liquide se fait de deux manières différentes : 1° directement en utilisant ses propriétés optiques au moyen d'appareils dits saccharimètres ou polarimètres ; 2° indirectement, en dosant le sucre à l'état de sucre interverti.

§ 1. — Partie théorique.

Nous allons entrer dans quelques détails sur les propriétés optiques du sucre, avant de faire connaître les saccharimètres basés sur ces propriétés mêmes, car bien des personnes sont désireuses de connaître les instruments qu'ils ont entre les mains, et ne possèdent pas une instruction assez étendue pour déchiffrer péniblement dans les livres le véritable jeu de ces appareils compliqués et essentiellement savants.

L'étude de la polarisation repose sur la définition même de la lumière. Fresnel qui en donna, entre tous les physiciens, une définition satisfaisante pour en expliquer tous les phénomènes, admet que la lumière est produite par la vibration d'un fluide extrêmement subtil et élastique qu'il appelle l'éther, disséminé par tout l'univers, même au delà des espaces stellaires. La vibration lumineuse est extraordinairement rapide, 600 trillions par seconde ; elle se transmet de proche en proche aux atomes éthérés avec une vitesse de 300.400 kilomètres à la seconde environ. La vibration se fait perpendiculairement à la direction de la propagation, de même que l'agitation produite dans une eau tranquille par un caillou lancé dans son milieu (fig. 177) se transmet par des ondes ou vagues dans le sens AB perpendiculairement à celui de la propagation CB. Mais un rayon de lumière ne se transmet pas aussi simplement que cela. On peut le concevoir comme résultant de l'assemblage de pareilles vibrations se produisant dans tous les sens à la fois autour de la ligne CB comme axe que suit ce rayon dans l'espace.

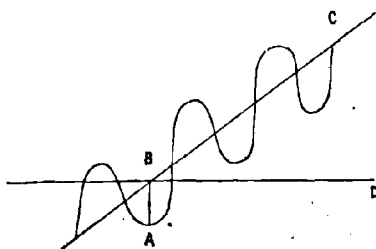


Fig. 177.

La longueur d'une ondulation complète, ou *longueur d'onde*, est variable avec chacune des couleurs du spectre. Elle va en diminuant du rouge au violet. Elle est en millimètres :

Pour le rouge.	0,000620
» jaune.	0,000580
» violet.	0,000423

Si donc nous ne considérons d'abord dans un faisceau de lumière qu'un rayon ne vibrant que dans un seul plan, et non dans tous les plans à la fois, ce rayon sera dit *polarisé rectilignement*, parce que chaque molécule de l'éther parcourt une direction AB rectiligne (fig. 177).

On obtient un rayon polarisé de manières très diverses, soit par réflexion, soit par réfraction, etc. Ainsi, si l'on fait réfléchir un faisceau

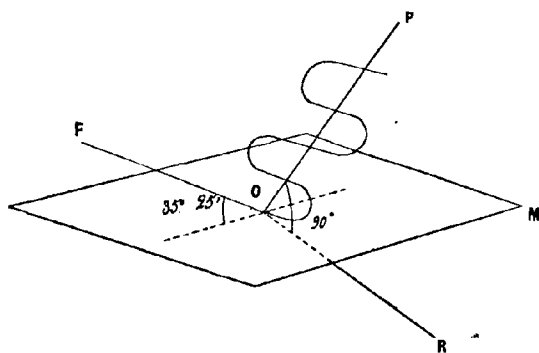


Fig. 178

de lumière F sur une lame de verre M (fig. 178) sous l'incidence de $35^{\circ}25'$, dite angle de polarisation, comme l'a indiqué Malus, le rayon réfléchi P est polarisé, c'est-à-dire ne vibre plus que dans un seul plan. Cependant une partie R du faisceau traverse la plaque de verre ; mais on remarque qu'elle est déviée dans sa direction, et qu'elle forme avec la direction P un angle droit (Brewster). Le rayon R dérivé est dit *réfracté*, mais est aussi polarisé, et les vibrations se font perpendiculairement à celles de P. Le rayon réfléchi est polarisé dans le plan d'incidence POR, c'est-à-dire que ses vibrations sont perpendiculaires à ce plan, de même que, dans une eau tranquille, la surface de l'eau formerait le plan de polarisation CBD (fig. 177), auquel les vibrations AB sont perpendiculaires.

Ainsi donc, le rayon FO a été décomposé en deux autres OP, OR, et ses vibrations se sont décomposées ainsi en deux séries rectilignes dans des plans perpendiculaires l'un à l'autre.

Un autre moyen de polariser la lumière est d'en faire passer un faisceau à travers certains cristaux. Soit, par exemple, un cristal de *spath d'Islande* (fig. 179). Considérons un rayon M qui traverse le cristal par son axe de figure, on remarque qu'il se réfractera et en même temps qu'il se partagera en deux D, E, car en regardant une lumière à travers le cristal on apercevra deux images, l'une suivant la marche ordinaire d'un faisceau qui traverserait une lame quelconque, l'autre s'en écartant suivant une loi déterminée. Le premier rayon est dit rayon ordinaire, le

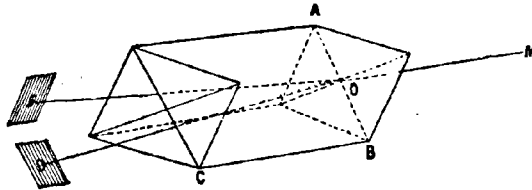


Fig. 179.

second rayon extraordinaire. Ces rayons sont tous deux polarisés et se trouvent dans le même plan ABC, qui est celui d'une *section principale du cristal*. Or, le rayon D est polarisé dans le plan de la section principale, et l'autre E est polarisé dans un plan perpendiculaire (Huygens); les vibrations du rayon D sont donc perpendiculaires au plan de la section principale, et celles du rayon E sont parallèles à ce plan. Ces deux faisceaux de lumière traversent le cristal avec des indices de réfraction différents. Ainsi avec le *spath d'Islande*, pour la lumière jaune de la raie D, on a les indices de réfraction suivants :

Rayon ordinaire	1,658	} Différence — 0,172
— extraordinaire . . .	1,486	

Le quartz présente également le phénomène de la double réfraction mais l'écart entre les deux rayons est moins grand. Les indices sont :

Rayon ordinaire	1,544	} Différence + 0,009
— extraordinaire . . .	1,553	

De tels cristaux sont dits *biréfringents*.

On nomme *prisme de Nicol, de Foucault*, des prismes de *spath* qui ne laissent passer qu'un seul rayon, grâce à un artifice, l'autre étant rejeté de côté par une réflexion intérieure. Car dans les applications de la lumière polarisée il est important d'isoler un des faisceaux de façon à n'opérer que sur un plan unique de polarisation. Aussi a-t-on recherché le moyen d'y arriver et a-t-on trouvé l'artifice d'évacuer un des rayons par réflexion totale. Dans le Nicol c'est le rayon ordinaire

qui est réfléchi, dans le Foucault c'est le rayon extraordinaire. Pour obtenir un Nicol, on coupe le cristal suivant un angle de $89^{\circ}17'$ avec la face d'entrée, et on le recolle avec un mastic particulier, le baume de Canada, dont l'indice de réfraction est de 1,549, moyen entre ceux des deux rayons ordinaires et extraordinaires du spath, en sorte que le rayon vienne se réfléchir sur cette surface. En effet, il passe d'un milieu plus réfringent, le spath dont l'indice est 1,658, dans un milieu moins réfringent, le baume dont l'indice est 1,549, et l'on comprend que si la coupe a été faite sous un angle convenable le rayon ordinaire puisse subir sur la face de coupe la réflexion totale, tandis que le rayon extraordinaire dont l'indice est moins élevé que celui du baume pourra, dans les mêmes conditions, traverser la couche de baume et sortir du cristal en ne subissant qu'un déplacement parallèle.

Le prisme de Foucault est également un prisme coupé, mais sous un angle de 51° . Les deux morceaux ne sont pas recollés. Ils sont seulement rapprochés laissant entre eux une lame d'air. Dans ces conditions c'est le rayon extraordinaire, le moins réfringent qui subit la réflexion totale. On rencontre le prisme de Foucault dans quelques appareils de saccharimètre.

Lorsque l'on veut obtenir un rayon polarisé, on se sert en général, et en particulier dans les saccharimètres, d'un prisme de Nicol.

Un rayon polarisé a la propriété, lorsqu'il traverse un cristal biréfringent, ou un Nicol, de se comporter de la même manière qu'un rayon ordinaire, à la condition que le plan principal du cristal soit parallèle à celui dans lequel le rayon est polarisé. Ainsi le rayon sortant d'un prisme de Nicol se partagera en deux autres en traversant un cristal de spath d'Islande, pourvu que la section principale du Nicol et celle du spath soient parallèles. Mais fait-on tourner le Nicol de manière à ce que le plan de sa section principale soit perpendiculaire à celui du spath, le rayon émergeant du Nicol ne pénètre plus le second cristal. Ceci se comprend aisément si l'on considère la forme même du faisceau lumineux, qui ne pourra propager ses vibrations que parallèlement à elles-mêmes. Si donc un rayon lumineux se présente devant un système de deux Nicol, dont les sections principales sont parallèles, il les traverse tous deux. Fait-on tourner sur lui-même un des Nicol, la lumière s'affaiblit peu à peu en les traversant, et au moment où les deux Nicol ont leurs sections principales perpendiculaires, aucun rayon ne traverse plus. Le phénomène est très facile à voir en plaçant les deux Nicol aux extrémités d'une lunette, et en considérant au travers de l'instrument une lumière que l'on fait paraître et disparaître à volonté en tournant les prismes sur eux-mêmes.

Tous ces phénomènes appartiennent aux manifestations de la polarisation dite rectilignè. Il existe une autre série de faits appartenant au même ordre de phénomènes et appelée polarisation *circulaire, elliptique et rotatoire*.

Lorsqu'un rayon polarisé par un Nicol traverse certaines substances liquides et solides, telles que le cristal de roche, le gypse, une dissolution de sucre, etc., et qu'on le regarde à travers un autre Nicol comme précédemment, on voit ce rayon se colorer des plus vives couleurs du spectre; seulement avec les unes, comme le gypse, les couleurs sont disséminées sur toute la surface en formant parfois des images d'une grande régularité, ce qui constitue le phénomène de la polarisation circulaire et elliptique. Avec d'autres, tels que le quartz taillé perpendiculairement à son axe, la dissolution du sucre observée dans un tube, la surface est teinte entièrement d'une seule couleur, passant par toutes les nuances du spectre en tournant les Nicol sur eux-mêmes; c'est la polarisation rotatoire. Le Nicol près de l'œil est appelé *analyseur* et celui qui reçoit la lumière s'appelle *polariseur*.

Si, au lieu de se servir d'un Nicol comme polarisateur, on emploie un cristal donnant deux images, les deux images sont vues à travers l'analyseur, teintées toutes deux, mais de couleurs *complémentaires*, soit l'une rouge et l'autre verte, l'une bleue, l'autre orangée, etc.

Si au lieu de lumière blanche on emploie un rayon de lumière monochromatique on se rend compte alors complètement des phénomènes de la polarisation rotatoire, et l'on voit que le faisceau de lumière polarisé rectilignement, en traversant la solution sucrée est encore polarisé rectilignement mais dans un plan différent, faisant un certain angle avec le plan primitif, angle qui mesure le *pouvoir rotatoire* du liquide.

Mais si l'on emploie comme source monochromatique successivement des couleurs différentes, on s'aperçoit que, dans les mêmes conditions d'épaisseur et de concentration du liquide traversé, les rotations sont différentes et augmentent en allant du rouge au violet.

Si donc le faisceau lumineux polarisé est composé de radiations différentes, on a pour chacune d'elles une rotation différente, c'est-à-dire que les distances angulaires de chacun des plans de polarisation de ces différentes radiations caractérisent ce que l'on peut appeler la *dispersion rotatoire* de la dissolution.

Les liquides sucrés partagent avec beaucoup d'autres corps solides et liquides les propriétés de polarisation rotatoire, tantôt l'angle de rotation du plan de polarisation se faisant à droite, tantôt se faisant à gauche.

Mais un fait fort remarquable et qui est devenu fort important à cause

de la construction des saccharimètres, c'est que la dispersion rotatoire du quartz est très sensiblement la même que celle du sucre. Nous aurons à revenir sur ce fait dans la construction des saccharimètres à lumière blanche.

Biot a formulé ainsi les lois de la polarisation des cristaux :

1° Pour toutes les plaques tirées d'un même cristal, la rotation du plan de polarisation est proportionnelle à l'épaisseur de la plaque ;

2° Il y a des cristaux de quartz qui font tourner le plan de polarisation à droite, d'autres à gauche ; mais, dans les uns et dans les autres, la même épaisseur produit le même effet ;

3° En associant plusieurs cristaux de quartz, l'effet définitif est proportionnel à leur somme, s'ils agissent dans le même sens, et à leur différence, s'ils agissent en sens contraire ;

4° Quel que soit le sens de la déviation, sa grandeur augmente avec la réfringibilité du rayon ;

5° Pour une lame de quartz de 1 millimètre d'épaisseur, la grandeur absolue des déviations est exprimée par les nombres suivants :

Couleurs	Déviations du plan de polarisation
Rouge extrême de Newton	17° 29' 47"
Rouge du verre de Biot.	18 25'
Limite du rouge et de l'orangé	20 29' 47"
Limite de l'orangé et du jaune	22 48' 49"
Jaune moyen	24
Limite du jaune et du vert	25 40' 31"
— du vert et du bleu	30 2' 45"
— du bleu et de l'indigo	34 34' 18"
— de l'indigo et du violet.	37 57' 58"
Violet extrême	44 4' 58"

Ces indications des diverses réfringibilités des rayons colorés ont éprouvé un degré de netteté beaucoup plus grand depuis la découverte, dans le spectre solaire, des raies placées d'une manière constante aux différents points de ce spectre. Ces raies, dites de Fraunhofer, ont été dénommées par des lettres.

La plus importante est la raie D, qui se trouve dans le milieu du spectre, dans le jaune, et à laquelle on rapporte généralement les observations polarimétriques, parce que la lumière jaune est facile à produire dans les appareils ; c'est celle que donnent les flammes dans lesquelles on introduit du sel marin. A la raie D, correspond une déviation du plan de polarisation égale à 21°,67, d'après Brock. A la raie suivante E, correspond une déviation de 27°,46. Entre ces deux raies, se trouve une teinte pâle tirant sur le vert d'eau, que l'on a appelée *teinte sensible*, correspondant à la déviation de 24°,50, et à laquelle on a rap-

porté les observations polarimétriques dans le saccharimètre Soleil. La plupart des anciennes observations ont été faites au moyen de la teinte sensible ; aujourd'hui on les rapporte à la raie D. On est convenu d'appeler $[\alpha]$ le pouvoir rotatoire spécifique des substances ; $[\alpha]_D$ est le pouvoir rotatoire rapporté à la lumière jaune de la raie D. $[\alpha]_J$ est celui qui correspond à la teinte sensible. Enfin, dans les formules, on nomme simplement α toute observation polarimétrique.

Pour passer d'une observation polarimétrique au pouvoir rotatoire spécifique d'une substance, on peut se servir de la formule donnée par Biot :

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

Dans laquelle ρ = le pouvoir rotatoire spécifique de la substance.

α = la rotation polarimétrique.

p = le poids de substance dissoute.

V = le volume de la solution de p .

l = la longueur du tube dans lequel on observe la solution.

Exemple : Le sucre ; on dissout 16^{gr},29 de sucre dans l'eau, et on forme un volume de 100 centimètres cubes. On observe la solution dans un tube de 2 décimètres de longueur. On a donc, sachant que 16,29 de sucre donnent au polarimètre une rotation $\alpha = 21,67$ égale à celle produite par une lame de quartz de 1 millimètre d'épaisseur avec la lumière jaune de la raie D,

$$\rho \text{ ou } [\alpha]_D = 21,67 \times \frac{100}{2 \times 16,29} = 66,5$$

Revenons à la théorie de la polarisation que nous venons d'interrompre pour donner les lois de Biot, et leur application à la polarimétrie. Étant donné l'effet des corps doués de pouvoirs rotatoires sur la lumière polarisée par un Nicol, si l'on veut savoir si une substance a un pouvoir rotatoire, en interposant cette substance sur le parcours d'un rayon polarisé et l'observant au moyen d'un analyseur, la lumière prendra immédiatement une coloration. Si encore les deux Nicol sont croisés perpendiculairement l'un à l'autre, en sorte qu'ils ne laissent passer aucune lumière, en interposant une matière polarisant rectilignement, le rayon polarisé se polarise de nouveau et tombe sur l'analyseur en faisant un angle différent de 90°, en sorte que la lumière passe par l'analyseur. On conçoit qu'en tournant l'analyseur d'une quantité suffisante pour ramener l'obscurité, en calculant l'épaisseur de la substance et l'angle de rotation, on pourra évaluer le pouvoir rotatoire de

cette substance. Si enfin la substance produit la polarisation rotatoire, en faisant tourner l'un des deux Nicol, on ne ramènera pas l'obscurité, mais la teinte uniforme observée variera à chaque portion de révolution, en passant par toutes les couleurs du spectre; si donc on sait qu'une substance prise pour type, le quartz, par exemple, produit telle teinte sous telle épaisseur, avec toute autre substance interposée entre le polarisateur et l'analyseur, et douée d'un pouvoir rotatoire, en calculant l'angle qu'il est nécessaire de faire faire à l'analyseur pour ramener la teinte obtenue avec le quartz, on pourra calculer de même le pouvoir rotatoire de la substance en question.

C'est sur ces données qu'a été construit le saccharimètre Soleil, et tous les autres qui sont venus à la suite, et dont nous parlerons aussi.

Avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer que les colorations dont nous parlions plus haut s'obtiennent avec un rayon de couleur blanche, comme le rayon ordinaire du jour, de la lampe, du gaz, etc. Mais si l'on prend un rayon *monochrome*, c'est-à-dire d'une seule couleur, jaune, rouge, etc., on n'obtiendra plus avec l'ensemble du polariseur et de l'analyseur que la lumière monochrome ou l'obscurité. C'est ainsi que l'on emploie, comme nous le disions plus haut, dans certains instruments, la lumière jaune produite par l'action du sel marin sur une flamme incolore.

Nous avons vu que le sucre en dissolution possède un pouvoir rotatoire très puissant. Biot, qui l'a calculé, a constaté, avons-nous dit, que son action sur la lumière polarisée est entièrement comparable à celle du quartz. Les calculs et les expériences ont prouvé récemment que 16^{gr},29 de sucre dissous dans l'eau et formant un volume de 100 centimètres cubes de liqueur, observés sous l'épaisseur de 20 centimètres, produisent la même rotation, avec la lumière jaune de la raie D du spectre, qu'un quartz de 1 millimètre d'épaisseur taillé perpendiculairement à l'axe du cristal.

D'après ces chiffres, on peut calculer la teneur en sucre d'une dissolution sucrée vue dans un tube de 20 centimètres de longueur, en calculant l'effet qu'elle produit au saccharimètre, et la comparant à l'épaisseur du quartz qui produirait le même effet. C'est ce procédé qui a été utilisé par Soleil pour régler son appareil.

C'est vers 1850 que T. Clerget chercha à utiliser pour la première fois les belles découvertes d'Arago et de Biot sur la polarisation rotatoire, pour doser la quantité de sucre réelle contenue dans une solution donnée. Il se servait d'abord du polarimètre de Biot, mais il fut bientôt secondé par les efforts de Soleil, le célèbre opticien, qui inventa son *saccharimètre*, lequel fut plus tard légèrement modifié par son successeur

Duboscq. A cette époque, la sucrerie était encore dans son enfance ; les procédés perfectionnés n'existaient pas encore ; à peine utilisait-on déjà le noir animal en grains pour décolorer les jus, aussi le sucre le plus pur que Clerget employait dans ses essais était-il encore imparfait. Il ne l'ignorait pas ; mais comme son but était l'application pratique des saccharimètres optiques aux opérations commerciales, il rechercha le plus pur des sucres du commerce, et s'en servit comme point de départ de ses observations, disant que le saccharimètre indiquerait la quantité de sucre commercial que contiendrait tout sucre analysé. Mais il arriva que peu à peu les sucres s'épurèrent, en sorte que le nombre $16^{\text{sr}},471$, que Clerget avait pris comme poids du sucre à dissoudre sous un volume de 100 centimètres cubes pour produire, sur une épaisseur de 200 millimètres, la même rotation d'une plaque de quartz de 1 millimètre d'épaisseur prise comme type, devint trop fort et dut être réduit à $16^{\text{sr}},35$. Enfin on arriva insensiblement à produire dans le commerce des sucres tellement purs que force fut bien de changer le but premier des recherches de Clerget, et de demander au saccharimètre la quantité de sucre réellement pur que contenait un échantillon donné, et ce sont ces recherches qui ont déterminé la prise d'essai de $16^{\text{sr}},29$. Ce poids de sucre marque 100 au saccharimètre, avec la lumière du gaz salé et le chiffre 100 inscrit sur les verniers des trois saccharimètres Soleil, Duboscq ou Laurent, correspond à une rotation angulaire du plan de polarisation de $21^{\circ},67$, rotation qui est celle produite par une lame de quartz de 1 millimètre d'épaisseur avec cette lumière, soit $21^{\circ}40'12''$.

Disons de suite que ce chiffre de Brock, $21^{\circ},67$, a été déterminé à 7° centigrades ; que le chiffre de Tollens donnant le pouvoir rotatoire du sucre $[\alpha]_D = 66,5$ se rapporte aux solutions à 14 % de sucre en volume et à 20° . Aussi en calculant la prise d'essai d'après ces chiffres trouve-t-on $16^{\text{sr}},293$. Après corrections faites, toutes les données étant remises à 15° on s'en est tenu à $16,29$, chiffre officiel aujourd'hui en France.

Donc ces trois saccharimètres sont parfaitement comparables, et si la prise d'essai varie dans les laboratoires, ce n'est pas parce que l'on se sert de tel ou tel instrument, mais parce que le but de la recherche est différent lui-même, et que la plupart des analyseurs ne savent pas l'interpréter. Or, aujourd'hui, toutes les analyses commerciales ont le même but, but qui est indiqué par le fonctionnement de l'impôt. L'impôt se prélève sur la quantité du sucre pur que contient un sucre, déduction faite du glucose et des cendres affectés d'un certain coefficient ; il est donc indispensable que tous les analyseurs se règlent sur la régie, et adoptent $16,29$ comme prise d'essai, puisque c'est ce nombre qui indique le sucre pur que contient l'échantillon expertisé, quitte à prendre

tel ou tel autre nombre pour les essais particuliers. Nous allons passer à la description des saccharimètres.

§ 2. — Saccharimètres.

Appareils de mesure. — On voit d'après tout ce qui précède l'importance qu'il y aura, au point de vue de l'utilisation des phénomènes de polarisation rotatoire pour le dosage des dissolutions sucrées, à pouvoir déterminer exactement la rotation du plan de polarisation d'un faisceau de lumière polarisée.

L'extinction fournie par un Nicol analyseur qui recevrait le faisceau au sortir de la solution sucrée donnerait l'indication sur la rotation subie. Malheureusement cette indication n'est pas assez précise, parce qu'il est impossible dans une gradation de teintes de plus en plus obscures de saisir le point d'extinction absolue. On a donc été obligé de recourir à divers artifices.

Tous ces artifices ont un but analogue : partager au moyen d'un dispositif spécial le faisceau lumineux au sortir du polariseur en deux autres, que nous appellerons A et B, et qui suivront des chemins parallèles, mais de telle façon que les plans de polarisation rectiligne de ces deux faisceaux partiels fassent entre eux un angle α généralement voisin de 5° .

Que se passera-t-il si l'on observe un pareil système à travers un Nicol analyseur?

Si le plan principal de l'analyseur est exactement perpendiculaire au plan de polarisation du faisceau A par exemple, il est clair qu'il fera avec le plan de polarisation du faisceau B un angle α . Le résultat sera donc l'extinction complète du faisceau A, et partielle de B. Cette extinction partielle sera d'autant plus éloignée de l'extinction totale que α sera plus grand.

Réciproquement, si la section principale de l'analyseur est perpendiculaire au plan de polarisation du faisceau B, nous aurons extinction totale en B et extinction partielle en A. Ces deux positions extrêmes de l'analyseur font évidemment entre elles l'angle α .

Mais, si partant de l'extinction totale de A, on fait tourner l'analyseur progressivement dans le sens convenable, A s'éclaircira progressivement, tandis que B s'assombriera progressivement également. Nous pourrions dire, pour employer le langage usuel, que la *pénombre* de A ira en diminuant tandis que celle de B ira en augmentant.

On conçoit que l'on trouvera dans ces positions intermédiaires une position moyenne telle que les pénombres de A et de B soient iden-

tiques d'aspect. La détermination de cette position particulière sera très précise, car la comparaison de deux pénombres voisines est facile et l'œil exécute cette opération photométrique avec beaucoup d'acuité.

Ajoutons que la position de l'analyseur pour des pénombres égales sera telle que son plan principal sera perpendiculaire au plan bissecteur de l'angle α .

Nous allons maintenant passer en revue les différents saccharimètres et voir comment les constructeurs ont résolu le problème. Et nous commencerons par le père de tous les saccharimètres du monde, le saccharimètre de Soleil, qui se servait de lumière blanche, et mesurait des teintes colorées faiblement au lieu de mesurer des pénombres, celles-ci ayant été inventées à une date postérieure.

Saccharimètre Soleil. — Le saccharimètre Soleil est composé essentiellement d'un polarisateur et d'un analyseur. Le prisme polariseur P' (fig. 180 et 181) est un spath biréfringent achromatisé par un prisme de

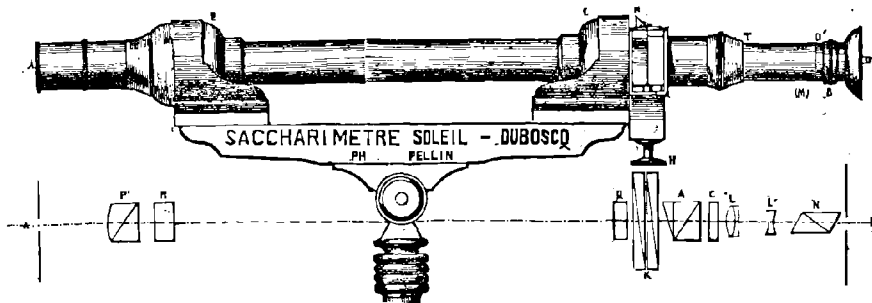


Fig. 180

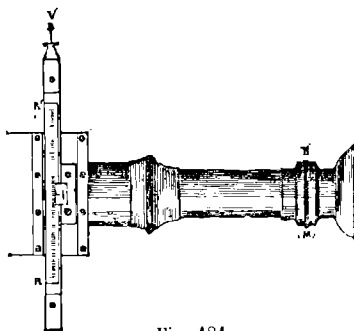


Fig. 181

crown, qui a pour effet de ramener dans l'axe de l'instrument l'image extraordinaire, l'autre étant rejetée hors du champ de vision par l'amplitude de l'angle réfringent et par un diaphragme convenablement

distancé ; de plus, la face d'incidence de ce crown est convexe, de manière à former lentille convergente, ce qui donne un effet lumineux plus intense. L'analyseur est un prisme bi-réfringent A, spath achromatisé, dont la section principale est perpendiculaire à celle du spath polariseur. Une des images est rejetée comme en P'. En avant de l'analyseur est une lunette de Galilée LL', destinée à considérer l'image avec plus de netteté. L'appareil ainsi décomposé constitue un appareil analogue à celui dont Biot s'est servi pour calculer le pouvoir rotatoire du sucre ; c'est, en effet, entre le polariseur et l'analyseur que se place le tube fermé par des verres à faces parallèles, long de 200 millimètres, contenant la liqueur sucrée. Mais tel que l'employait l'illustre physicien, il est très délicat à manier, et n'est pas pratique entre des mains peu expérimentées. Soleil imagina de remplacer l'extinction de la lumière par l'usage des phénomènes des couleurs produites par les lames de quartz. A cet effet, il plaça en R, entre l'analyseur et le polariseur, un disque de cristal de roche de 3^{mm},75 ou 7^{mm},50 d'épaisseur, et taillé perpendiculairement à l'axe, mais composé de deux demi-disques de même épaisseur, accolés suivant un diamètre, possédant un pouvoir rotatoire égal, mais l'un à droite, l'autre à gauche. Cette lame est dite à double rotation ; le diamètre commun est vertical et dans l'axe de l'appareil.

De cette épaisseur ou de ses multiples, elle donne une dispersion des plans de polarisation de chaque rayon simple de réfrangibilité différente, telle que la teinte obtenue par chacun des demi-disques sera celle qui a été appelée par Biot *teinte sensible* ou *de passage*, qui est d'un ton violacé dit *fleur de pécher*. Le disque paraîtra donc dans ce cas d'une teinte uniforme, lorsque l'on fait usage de la lumière blanche, et que les sections principales du prisme polariseur et du prisme analyseur sont parallèles. Interpose-t-on alors le tube rempli d'une solution sucrée, la rotation imprimée par l'un des quartz de la double lame sera accrue, l'autre diminuée, l'équilibre des couleurs sera rompu, l'un des demi-disques virera au vert et l'autre au rouge. Ce résultat obtenu, si l'on interpose entre le tube et l'analyseur en Q une lame de quartz d'épaisseur convenable pour compenser l'action du sucre sur le biquartz, les deux teintes redeviendront égales, et, calculant l'épaisseur du quartz, comme il y a proportion entre la rotation produite par les solutions sucrées et celle provenant d'une lame de quartz, on saura la quantité de sucre contenue dans le tube. C'est justement ce à quoi est arrivé Soleil par le système QK. appelé compensateur, et vu en plan, figure 177, ou en perspective en R. Pour former ce compensateur, on place en Q un quartz d'épaisseur arbitraire, de rotation simple, capable de compenser plus que l'effet produit par l'action de la solution sucrée dans

les conditions des expériences. On lui donne 3 millimètres et on le prend dextrogyre. K est un système composé de deux prismes de quartz lévo-gyres achromatisés chacun par un prisme de crown. Ces prismes sont triangulaires, droits, très allongés en forme de coin et la somme de leur plus grande épaisseur est au moins de 4 millimètres. Ces deux lames sont ajustées dans une coulisse et glissent l'une devant l'autre en conservant le parallélisme de leurs faces homologues qui sont perpendiculaires à l'axe de cristallisation, et sont formées par le plus grand côté de l'angle droit. Si donc le tube est supprimé et que les deux lames présentent une épaisseur totale de 3 millimètres au rayon émergeant de Q, le pouvoir de Q est compensé par le système K, et le biquartz apparaît comme un disque de couleur uniforme ; si au contraire le tube est remis en place, pour ramener l'égalité de teinte ont fait glisser les deux lames l'une devant l'autre de manière à diminuer leur épaisseur totale de la quantité équivalente à la déviation produite par la solution sucrée.

Sur l'un des prismes est une règle en ivoire R graduée, sur l'autre un vernier qui se déplace sur la règle lorsque l'on fait glisser les prismes l'un sur l'autre. Or les espaces qui marquent les divisions de la règle, correspondent chacun à la différence de 1 millimètre de quartz dans l'épaisseur variable des prismes ; et comme ces espaces sont partagés en 10 parties et qu'au moyen d'un vernier, on peut les subdiviser en 10, ce sont des épaisseurs de $1/100$ de millimètre que peut préciser le vernier. Donc de 0, point initial, jusqu'à 100 qu'indique le vernier, on aura parcouru toutes les phases de la richesse d'une solution sucrée depuis 0 jusqu'à 100 %, et la simple lecture sur la règle indiquera exactement la richesse en sucre de la solution soumise à l'analyse.

Enfin il peut arriver que le liquide placé dans le tube soit coloré et que, par conséquent, la teinte de passage soit remplacée par une autre moins sensible ; il arrive aussi fréquemment que la teinte sensible ne soit pas exactement la même pour toutes les vues. Soleil a obvié à cet inconvénient au moyen d'un système qu'il mettait en avant du polariseur et que Duboscq a placé depuis en avant de la lunette de Galilée, ce qui rend l'effet plus sensible. Ce système se compose d'une lame de quartz C perpendiculaire à l'axe et d'un Nicol N qui joue le rôle d'analyseur par rapport à la lumière sortant de A comme polariseur. Cette lumière se décompose de nouveau en traversant la lame C, et le Nicol N ramène à peu près la teinte sensible, en sorte que l'on se trouve dans les mêmes conditions expérimentales que si la solution dans le tube était incolore.

Tel est ce bel instrument, point de départ de tous les autres appareils qui ont paru depuis, appareils sans doute préférables mais qui n'ont

certes pas nécessité la somme de science énorme qu'il a fallu dépenser pour mettre au jour le premier saccharimètre. Depuis que l'on possède des outils plus parfaits, le saccharimètre Soleil est généralement mis de côté, quelquefois même un peu dédaigneusement, par les chimistes qui n'en voient que les défauts. Loin de le rejeter ainsi, nous conseillons à ceux qui aiment l'étude et les recherches, et qui sont encore novices en saccharimétrie, de l'étudier, de s'en servir même, ce sera pour eux un moyen de posséder un peu de la science qui a guidé Soleil dans ses travaux.

On rencontre encore, dans les anciens laboratoires, quelques-uns des premiers saccharimètres construits par Soleil et qui en diffèrent un peu dans la forme et la disposition des parties constituantes, mais nous ne nous arrêterons pas sur leur fonctionnement, la théorie qui les a fait naître étant identique à celle que nous avons décrite.

Le tube dans lequel on introduit les liquides à observer se compose d'une portion tubulaire en cuivre à double enveloppe, dont les extrémités sont parfaitement dressées, et dont la longueur est parfaitement calibrée à 20 centimètres. Les extrémités de ce tube portent un pas de vis sur lequel se vissent deux bonnettes formant diaphragme au moyen d'ouvertures centrales plus petites que le diamètre intérieur du tube de cuivre.

Le tube est fermé à ses deux extrémités par deux disques obturateurs en verre assez épais, bien transparents, à faces bien parallèles. Ils sont maintenus en place par les bonnettes, et pour que le serrage soit doux et ne raie pas le verre, un disque de cuir percé d'un trou central est interposé entre le verre et la bonnette. L'intérieur du tube est bien poli, parfois argenté, d'autres fois il est en verre pour éviter l'action corrosive de certaines solutions. Pour emplir le tube, on le tient vertical, on dévisse la bonnette supérieure, on enlève l'obturateur de verre, et on verse le liquide à l'intérieur jusqu'à ce qu'étant plein, il se forme un ménisque liquide au-dessus du plan dressé de l'extrémité du tube. Alors on fait glisser le disque de verre sur cette extrémité du tube de manière à araser tout ce qui dépasse du liquide. De la sorte aucune bulle d'air ne s'introduit dans le tube. On remet alors l'anneau de cuir, on visse la bonnette, et le tube est prêt à servir. Il faut avoir soin de ne pas serrer fortement les bonnettes, car le verre, sous un effort même médiocre, tend à se déformer et présente ainsi un pouvoir rotatoire sur la lumière polarisée, qui vicie les observations; cette déformation se maintient quelque temps et disparaît au bout de quelques jours. Il faut donc avoir soin, quand on conserve ses tubes à vide, de visser lâche les douilles, et quand on s'en sert de ne pas mettre de force dans le ser-

rage, de n'employer que l'effort strictement nécessaire pour que la bonnette ne se dévisse pas seule.

Le nettoyage des tubes doit être aussi parfait que possible, à l'eau et au papier roulé sur une baguette, papier que l'on renouvelle souvent pour qu'il soit toujours bien propre. Enfin les tubes doivent être bien secs intérieurement et bien brillants. La raison de cela est que si la surface intérieure est rugueuse, il se forme pendant l'emplissage quelques bulles d'air qui se réunissent plus tard et font une bulle plus grosse qui gêne et vicie les observations en écartant le regard de l'axe de l'appareil.

On a donné différentes formes aux tubes. Les premiers construits, ceux qui servent le plus généralement en France, sont à double enveloppe laissant une couche d'air interposée, ce qui est une bonne chose pour éviter l'action de la température extérieure et de la chaleur de la main qui touche le tube, le liquide restant ainsi à la même température tout le temps nécessaire à l'observation.

On a construit depuis des tubes en cuivre massif qui sont un peu plus lourds et n'offrent aucun avantage. Pour éviter la déformation de la plaque de verre par l'effort du serrage, on a imaginé d'effectuer ce serrage par un ressort à boudin logé dans la bonnette se fixant elle-même par un emmanchement à baïonnette. L'idée est bonne, mais le nettoyage de la bonnette et du ressort devient difficile. Nous préférons encore l'ancien tube à double enveloppe avec serrage par l'intermédiaire d'un cuir épais que l'on renouvelle quand il est trop dur. L'emploi de rondelles en caoutchouc ne donne aucun bon résultat. D'ailleurs, quel que soit le tube que l'on emploie, il faut en avoir soin, comme de tout instrument de physique de dimension calibrée.

Saccharimètre à pénombre de Duboscq. — Le saccharimètre Soleil qui a rendu de si grands services à l'industrie et à la science, est un instrument fatigant pour la vue ; car la considération des deux teintes brillantes dont il faut trouver l'égalité affecte douloureusement le nerf optique après un certain nombre d'observations consécutives. Jellett, à Dublin, avait imaginé un nouveau genre de prisme analyseur formé d'un Nicol ordinaire coupé d'une certaine façon que nous allons décrire, destiné à remplacer la comparaison des teintes brillantes par celle de deux obscurités plus ou moins complètes comme nous l'avons expliqué précédemment.

Pour faciliter cet effet, Cornu, à Paris, employa la lumière monochromatique, et, d'accord avec Duboscq qui a construit le premier appareil pratique, il a utilisé le Nicol coupé de Jellett comme polariseur et non

comme analyseur. Enfin, plus tard, Duboscq remplaça le Nicol de spath coupé, très difficile à construire et à centrer et trop coûteux, par le polariseur du saccharimètre Soleil qu'il a coupé suivant le principe de Jellett.

Passons après ce court historique à la théorie de l'instrument. L'appareil de Biot est peu commode à employer, parce qu'il est difficile de déterminer *exactement*, par l'extinction seule de la lumière, le moment où les sections principales des deux Nicol sont perpendiculaires. En employant le Nicol coupé de Jellett ou le polariseur de Duboscq, au contraire, pour une très faible déviation de polariseur, l'effet optique est considérable. Voici comment le Nicol est modifié. Soit (fig. 182-1) ABCD la base d'un Nicol, AC la section principale ; on le coupe par deux plans parallèles à ses arêtes et menés suivant deux droites formant un angle

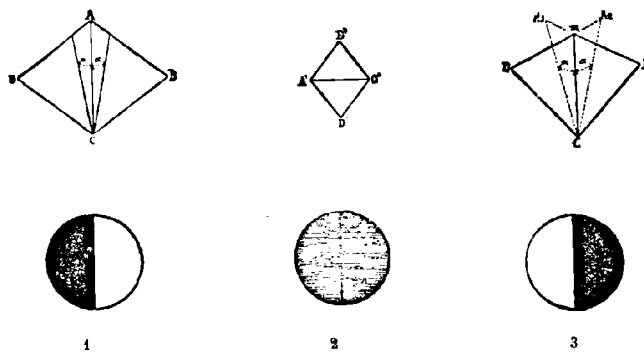


Fig. 182.

$2\alpha = 5^\circ$ environ, dont AC est la bissectrice. Les deux portions du prisme sont ensuite recolées ; soit CD *m* B (fig. 182-3) la nouvelle base. La section principale pour chacune des moitiés est alors reportée suivant les deux directions CA₁ et CA₂, telles que les deux angles mCA₁ et mCA₂ sont égaux entre eux et égaux à α . Si alors on fait passer un rayon de lumière monochromatique (on choisit la lumière jaune provenant de l'introduction du sel marin dans la flamme incolore d'un bec Bunsen ou d'une lampe à alcool puissante comme une éolipyle) à travers ce Nicol tenu de telle sorte que le plan passant par mC soit vertical, et qu'on le regarde avec un autre Nicol (fig. 182-2) dont la section principale soit horizontale, on ne verra qu'une pénombre. Cette pénombre ne sera pas tout à fait noire, parce que la section principale de chaque moitié du Nicol est légèrement inclinée sur l'horizon ; mais elles sont inclinées l'une et l'autre de l'angle α et il y a égalité de pénombre sur chaque demi-Nicol. Mais si l'on incline même d'une quantité extrêmement petite le

Nicol coupé, immédiatement l'une des sections se trouve inclinée d'un angle α de plus que l'autre, par conséquent, est beaucoup plus lumineuse, et si les Nicols sont placés aux extrémités d'un appareil analogue à celui de Biot muni de diaphragmes circulaires, on aperçoit dans le champ de la lunette un disque circulaire dont une moitié est brillante et l'autre encore sombre (fig. 1 ou 3). Il en est de même si l'on interpose un tube rempli de solution sucrée. Mais dans ce cas, en tournant l'analyseur d'une quantité suffisante et indiquée par le déplacement d'un vernier sur un cadran divisé, on ramène le disque à la parfaite égalité

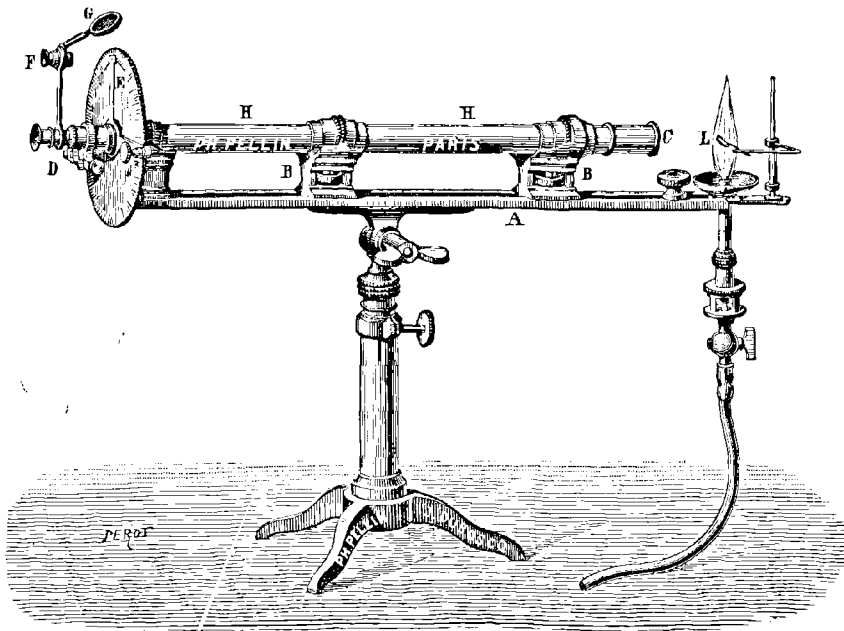


Fig. 183.

de teinte (fig. 2) et, pour les mêmes motifs indiqués à propos du saccharimètre Soleil, le déplacement du vernier indique la quantité de sucre contenue dans la solution.

Le limbe sur lequel se déplace le vernier (fig. 183) porte deux graduations et aussi deux verniers; l'une est la division du cercle et l'autre indique la richesse pour cent des solutions sucrées, correspondant par conséquent à la règle graduée du saccharimètre Soleil.

Les deux instruments d'ailleurs, comme nous l'avons dit, peuvent se vérifier au moyen d'une lame de quartz de 1 millimètre d'épaisseur qui provoque une rotation du plan de polarisation de $21^{\circ}48'$, et c'est cet

angle divisé en 100 parties égales qui indique la teneur en centièmes de sucre dans une solution.

Duboscq a nommé cet appareil *Rotatomètre* ou saccharimètre à pénombre. C'est un instrument d'une très grande précision, car les rayons lumineux traversent un milieu de même nature dans chacune des portions du Nicol, par conséquent ne sont sujets à aucune coloration particulière à l'un ou à l'autre segment du disque. L'on peut donc considérer dans le rotatomètre des colonnes liquides de longueur quelconque sans difficulté. Seulement on ne doit pas se servir de solutions trop colorées qui intercepteraient les rayons lumineux. Dans ce cas on est obligé de faire usage de tubes plus courts.

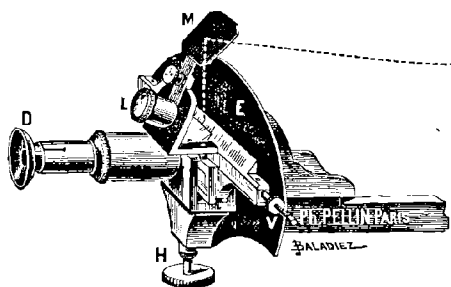


Fig. 184.

La figure 183 représente le saccharimètre Duboscq tel que le construit Pellin pour les tubes de grande longueur. C'est une règle montée sur un pied et qui supporte tous les organes de l'appareil, partie optique, support de tubes, bec de gaz pour lumière jaune, ou lampe pour lumière blanche. Les tubes s'appuient sur des talons mobiles qui glissent dans une rainure ménagée dans la règle, de manière que l'on peut mettre deux tubes bout à bout pour avoir de grandes épaisseurs de liquide en observation.

La partie optique des appareils Duboscq se compose d'un polariseur formé par une prisme coupé de Jellett-Cornu. L'analyseur est un Nicol en avant duquel est une lunette de Galilée pointée sur la coupe du polariseur. Un cristal de bichromate est intercalé entre la lumière et le polariseur.

A cet appareil on peut ajouter un compensateur Soleil (fig. 184) pour pouvoir utiliser la lumière blanche à la place de la lumière du sodium. Nous nous étendrons plus loin sur la théorie de cette disposition.

Le premier saccharimètre à pénombres et lumière blanche a été imaginé en 1893 par Prasmovski.

Les saccharimètres construits en Allemagne dérivent tous des appa-

reils de Soleil et Duboscq. Ils ne comportent que quelques modifications de détail provenant surtout de leur prise d'essai qui n'est pas la même que la nôtre, et dès lors exige des épaisseurs de quartz différentes dans la construction de leurs différents organes. En effet Ventzke, en adoptant le saccharimètre Soleil auquel il accola son nom, prit pour point 100 la déviation produite par un liquide sucré de 1,100 de densité, à 17°,5 centigrades. Le liquide à 1,100 de densité contient 26 gr. 048 de sucre dans 100 centimètres cubes Mohr. C'est sur cette base que sont gradués tous les saccharimètres Allemands.

Le saccharimètre Duboscq à lumière blanche et le saccharimètre Schmidt et Haensch comportent les mêmes organes généraux et diffèrent fort peu dans le fond sinon dans la forme.

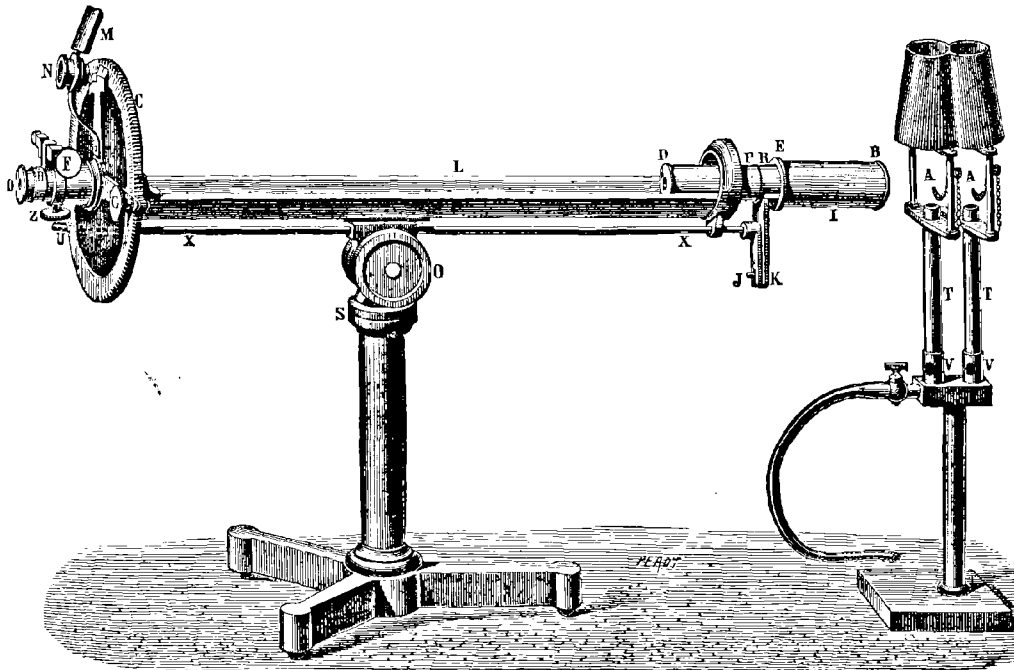


Fig. 185.

Saccharimètre Laurent. — Laurent a imaginé un nouveau moyen d'obtenir la pénombre, basé sur un principe fort simple et qui lui a permis d'ajouter au saccharimètre les organes nécessaires pour en faire un instrument de précision en même temps que d'analyse courante. Cette addition donne à l'opérateur la possibilité de faire varier à son gré l'intensité de la pénombre, suivant la coloration plus ou moins grande des liquides à examiner. On peut dès lors l'affecter aux essais des sucres

bruts, même colorés, essais qui ne demandent pas en général une exactitude aussi mathématique que les recherches scientifiques. Aussi le saccharimètre Laurent est-il employé dans les laboratoires sucriers qui peuvent disposer d'une lumière monochromatique. Ce saccharimètre se compose d'un polariseur, d'un analyseur, qui est un Nicol; et, placé entre les deux, près du polariseur, d'un quartz d'une forme particulière que nous allons décrire. L'appareil est éclairé par la lumière, dite du gaz salé, comme le rotatomètre de Duboscq.

Voici la description exacte de l'appareil, d'après l'auteur (fig. 185) :

- A Flammes monochromatiques jaunes; leur milieu est placé à 20 centimètres de B.
- B Lentille éclairante, vissée sur le tube I.
- I Tube noirci, porte la lentille B et vissé sur E.
- E Barillet, porte un diaphragme à petit trou, lequel reçoit une bonnette contenant un cristal de bichromate de potasse, destiné à rendre la flamme plus monochromatique.
- Quand les liquides sont jaunes (mais limpides), on ne met pas le bichromate. Il ne sert que lorsque les liquides sont incolores.
- R Tube portant le levier B, il entre dans P et porte un tube renfermant le polariseur et une lentille qui se dévisse.
- P Tube fixé sur la règle L.
- D Diaphragme recouvert sur une moitié par une plaque de quartz demi-onde, que l'on vise avec la lunette de Galilée OH.
- K Levier fixé sur le tube polariseur R et rendu mobile par la manivelle J.
- J Manivelle fixée sur la tige X.
- X Tige portant la manivelle J et le levier U.
- U Levier fixé sur X, fait tourner le polariseur par l'intermédiaire de J et K, afin de donner plus ou moins de lumière.
- Si le liquide est peu coloré, le levier est levé jusqu'à l'arrêt. S'il est coloré, on baisse plus ou moins ce levier.
- L Règle en bronze en forme de V de 60 centimètres de longueur, rabotée et alésée.
- G Cadran portant les divisions et l'alidade.
- M Miroir renvoyant la lumière du bec sur les divisions.
- H Tube oculaire, entre dans celui qui porte l'alidade. Il possède un mouvement angulaire.
- F Bouton de réglage, pour établir l'égalité de tons, lorsque le zéro du vernier coïncide avec celui de la division correspondante. Il pousse le tube H, et un fort ressort antagoniste le ramène.
- O Bonnette du tube oculaire, mobile dans H, sert à mettre au point.

Théorie de l'appareil.— La séparation du faisceau lumineux polarisé en deux autres dont les plans de polarisation font entre eux un petit angle, se fait dans le saccharimètre Laurent en utilisant les propriétés de la *lame demi-onde*. C'est une lame de quartz mince taillée parallèlement à l'axe optique du cristal, et d'épaisseur telle que si l'on considère une vibration lumineuse comme décomposée en deux vibrations concomittantes, mais l'une parallèle à l'axe et l'autre perpendiculaire, celle-ci subit, du fait du passage à travers la lame, un retard d'une demi-longueur d'onde.

Une théorie approfondie de cette lame montre qu'elle a la propriété suivante : Si l'on fait tomber sur une lame demi-onde (fig. 186) dont l'axe optique est AO, un faisceau polarisé rectilignement suivant OB, au sortir de la lame le faisceau est encore polarisé rectilignement, mais

dans une position OB' symétrique de OB par rapport à l'axe optique de la lame.

Laurent a appliqué ce principe de la manière suivante. La lame demi-onde couvre la moitié du champ traversé par le faisceau lumineux au sortir du polariseur. Dans la moitié où ne se trouve pas la lame, la vibration primitive ne sera pas altérée. Dans l'autre, celle couverte par la lame, elle sera reportée dans une position symétrique par rapport à l'axe optique de la lame. Nous avons donc au sortir de ce système de polariseur un faisceau composé de deux parties où la lumière est polarisée dans deux plans faisant entre eux un angle double de celui que fait la section principale du polariseur avec l'axe optique de la lame.

Supposons le plan de polarisation parallèle à OA (fig. 186). Si on le laisse fixe et qu'on tourne l'analyseur, on passera progressivement de l'extinction totale au maximum de lumière, et les deux moitiés du disque resteront toujours égales l'une à l'autre exactement comme si la lame n'existait pas.

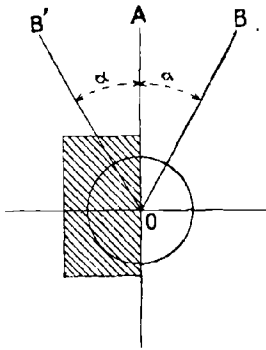


Fig. 186.

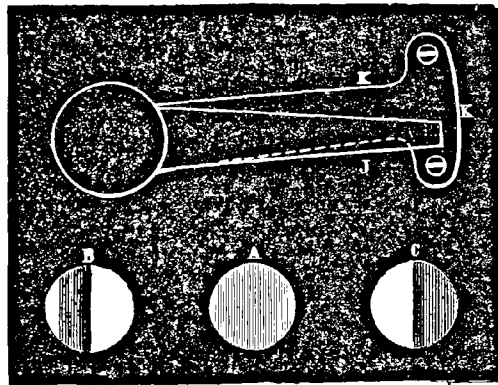


Fig. 187.

La lame étant toujours fixe, je suppose que l'on fasse tourner le polariseur de manière à ce que sa section principale vienne en OB , en faisant avec l'axe OA l'angle quelconque α . D'après ce que nous venons de dire le plan de polarisation de OB sera reporté en OB' symétriquement à OB par rapport à l'axe OA .

Si on laisse le polariseur fixe dans cette position et qu'on tourne l'analyseur de manière à rendre sa section principale perpendiculaire à OB , il y aura extinction totale par le côté droit, mais partielle par le côté gauche (C fig. 187).

Réciproquement si la section principale de l'analyseur est perpendiculaire à OB' , il y aura extinction totale pour le côté gauche ; enfin si la sec-

tion principale de l'analyseur est perpendiculaire à OA, il y aura extinction partielle pour chacun des deux côtés et égalité de tons (A fig. 187) puisque $\alpha = \alpha'$, et le disque sera entièrement dans la pénombre. Si on laisse maintenant l'analyseur fixe dans cette dernière position et qu'on tourne le polariseur de manière à ce que sa section principale fasse avec OA des angles variant de 0 à 45°, les deux demi-disques resteront toujours égaux en intensité l'un par rapport à l'autre, mais les deux ensemble changeront progressivement leur intensité comme en passant de l'extinction totale au maximum de lumière, en un mot l'égalité de tons se fera sur un fond plus ou moins sombre.

Mais si après avoir ainsi amené le polariseur à faire un angle quelconque (excepté l'angle de 0°) avec OA, et que le laissant fixe dans cette dernière position on fasse tourner l'analyseur d'un petit angle, soit à droite soit à gauche, alors immédiatement l'égalité de tons est rompue pour les deux demi-disques, l'un devient plus foncé et l'autre plus clair; ce brusque changement permet de déterminer avec beaucoup de précision la position de l'analyseur, c'est-à-dire la position du 0 de l'instrument lorsqu'il n'y a aucune substance interposée.

Si l'on vient à interposer une substance possédant le pouvoir rotatoire, on détruit l'égalité de tons. Il faut alors tourner l'analyseur jusqu'à ce qu'on rétablisse cette égalité de tons; l'angle de rotation dont l'analyseur a tourné indique le pouvoir rotatoire de la substance.

Lorsque l'on a des liqueurs très colorées, la facilité avec laquelle on peut augmenter l'angle des sections principales permet donc de voir et de lire le pouvoir rotatoire, ce qu'on ne peut faire sans cette modification de l'appareil.

Dans les figures 185 et 187, K est un levier dont l'extrémité se déplace devant l'index J. C'est en agissant sur ce levier, dont la course est limitée à quelques degrés, que l'on fait tourner le polariseur.

La figure 185 représente la vue perspective du saccharimètre Laurent. On y voit en F la disposition de la petite vis qui sert à régler le zéro de l'instrument, et G la molette que l'on tourne pour déplacer le vernier. Cette molette est montée sur un petit pignon engrenant sur les dents ménagées autour du limbe C. Pour orienter l'instrument devant la flamme, on peut l'animer comme dans l'ancien Soleil, et le Duboscq d'ailleurs, d'un mouvement dans le plan horizontal autour de l'axe S et d'un mouvement dans le plan vertical autour de l'axe O, et l'on peut le fixer dans la position définitive au moyen de vis de pression. A est la flamme et V l'entrée de l'air pour brûler le gaz comme dans tout bec Bunsen.

La figure 185 est un grand saccharimètre pour tubes de 50 centi-

mètres. Comme la pièce K est trop loin de la main pour pouvoir être déplacée à l'aise, on lui communique son mouvement au moyen de la tige X et du levier U. L'observation de longs tubes nécessitant une lumière beaucoup plus vive, le brûleur est double et composé de deux brûleurs placés sur le même pied l'un derrière l'autre dans le plan vertical de l'appareil. D'ailleurs Laurent applique le brûleur double à tous ses saccharimètres nouveau modèle.

Comme la chaleur dégagée par les brûleurs est intense, et peut décoller les lames de bichromate, il est utile de les placer à une certaine distance. C'est pourquoi, entre la lame de bichromate et le foyer lumineux, Laurent interpose une lentille qui fait converger les rayons lumineux sur la lame.

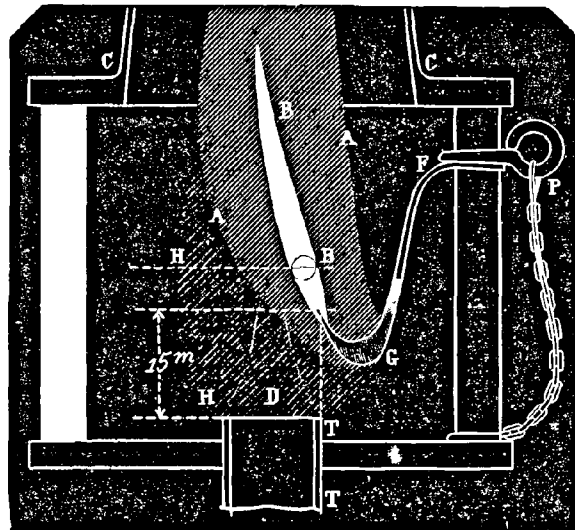


Fig. 188.

La question de la lumière est importante pour les saccharimètres. Il faut qu'elle soit bien monochrome, jaune comme la raie D, et l'on sait que le centre de la flamme d'un bec Bunsen est bleu, ce qui est fort nuisible à l'observation saccharimétrique si l'on n'écarte pas ces rayons. Laurent a cherché le meilleur dispositif pour obtenir la flamme jaune du sodium. Il s'est arrêté au suivant. Dans la flamme du bec Bunsen (fig. 188) il introduit une petite nacelle en toile métallique de platine FG dans laquelle on a mis préalablement du sel marin pur fondu. On place la nacelle au centre de la flamme, de manière à ce que la partie bleue D de la flamme en lèche l'extrémité. On voit alors la partie inco-

lore H s'illuminer d'une lueur jaunâtre AA, et l'extrémité chaude de la flamme s'écraser en une traînée jaune BB d'une intensité lumineuse considérable. C'est sur le centre de cette flamme, là où l'on a tracé un rond, que l'on doit diriger le saccharimètre. Une cheminée CC enlève le produit de la combustion et donne de la fixité à la flamme.

Saccharimètre Laurent à lumière blanche. — Il y a des établissements et des sucreries qui n'ont pas l'avantage d'avoir le gaz, et qui ne peuvent cependant se passer du saccharimètre.

Il y a deux moyens de parer à cet inconvénient.

Le premier consiste à employer un *éolipyle* (fig. 189). C'est une petite chaudière en cuivre H chauffée au moyen d'une lampe à alcool, contenant elle-même de l'alcool ou de l'esprit de bois, et qui est surmontée d'un système analogue au bec Bunsen double décrit précédemment.

L'alcool alimenté d'air en V brûle en G comme le gaz et produit la flamme incolore dans laquelle est plongée la coupelle portant le sel marin. Une soupape de sûreté E, dont on voit à gauche le détail, rend l'appareil tout à fait inoffensif. L'éolipyle brûle pendant 25 minutes environ, après quoi il faut le recharger.

L'autre moyen, plus radical, consiste à faire usage du *saccharimètre à lumière blanche* (fig. 190). Dans son saccharimètre, en avant de l'analyseur, Laurent a placé le compensateur de l'ancien saccharimètre

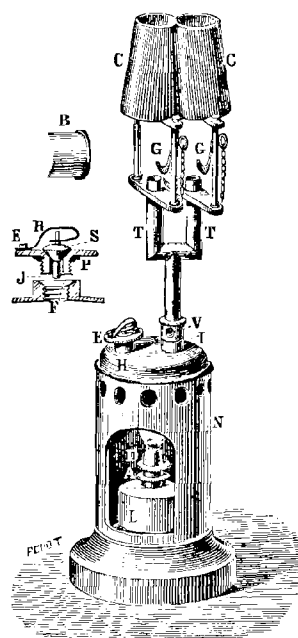


Fig. 189.

Soleil à lames prismatiques de quartz. C'est alors sur le compensateur R que l'on fait la lecture comme dans l'ancien Soleil, et le limbe C n'est plus qu'un écran pour faciliter les observations.

Il en résulte qu'avec ce dispositif on peut se servir d'une lumière quelconque, d'une bonne lampe à pétrole, par exemple, ou de la lumière solaire, et cependant l'appareil est toujours à pénombre, c'est-à-dire que le disque apparaît toujours d'une teinte uniforme, se séparant en noir et blanc lorsqu'on approche du point de polarisation, exactement comme dans le pénombre à la lumière jaune.

Cet appareil est beaucoup plus délicat à construire que l'autre à cause

- de la difficulté de trouver de bons quartz sans défauts, difficulté d'autant plus grande que l'appareil est plus perfectionné.

On peut se demander comment il se fait que la simple interposition du compensateur Soleil sur un appareil à lumière jaune suffise pour lui permettre l'emploi de la lumière blanche. Ce fait provient du phénomène que nous avons expliqué précédemment sous le nom de *dispersion rotatoire*. Nous avons dit qu'un faisceau lumineux (comme la lumière blanche) composé de radiations différentes et polarisé, avait pour chaque radiation une polarisation différente. Si l'on reçoit un faisceau ainsi polarisé sur une substance active, mais de signe contraire, les radiations polarisées dans des angles différents provenant de la source lumi-

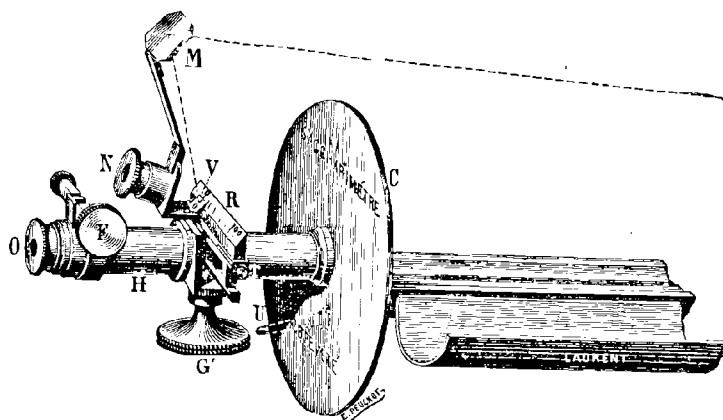


Fig. 190.

neuse reprendront leur position primitive, et reconstitueront la lumière blanche. C'est ce qui se passe avec le compensateur Soleil recevant les rayons lumineux sortant soit d'un prisme coupé de Cornu, soit du système à lame demi-onde de Laurent, et ce qui explique pourquoi l'on peut avec ce dispositif remplacer la lumière monochromatique par la lumière blanche.

Ce qui permet l'emploi de ce dispositif pour l'analyse des liquides sucrés c'est que le sucre a très sensiblement la même dispersion que le quartz, comme nous le remarquons plus haut.

TABLE POUR L'ANALYSE SACCHARIMÉTRIQUE DES LIQUIDES

CONCORDANCE : 100° = 16^r,29 de sucre pur.

A — nombre fourni par le saccharimètre.

B — Poids de sucre en grammes contenu dans 100 cc. de solution.

A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	0,1629	27	4,3983	53	8,6337	79	12,8691	105	16,1045
2	0,3258	28	4,5612	54	8,7966	80	13,0320	106	17,2674
3	0,4887	29	4,7241	55	8,9595	81	13,1949	107	17,4303
4	0,6516	30	4,8870	56	9,1224	82	13,3578	108	17,5932
5	0,8145	31	5,0499	57	9,2853	83	13,5207	109	17,7561
6	0,9774	32	5,2128	58	9,4482	84	13,6836	110	17,9190
7	1,1403	33	5,3757	59	9,6111	85	13,8465	111	18,0819
8	1,3032	34	5,5386	60	9,7740	86	14,0094	112	18,2448
9	1,4661	35	5,7015	61	9,9369	87	14,1723	113	18,4077
10	1,6290	36	5,8644	62	10,0998	88	14,3352	114	18,5706
11	1,7919	37	6,0273	63	10,2627	89	14,4981	115	18,7335
12	1,9548	38	6,1902	64	10,4256	90	14,6610	116	18,8964
13	2,1177	39	6,3531	65	10,5885	91	14,8239	117	19,0593
14	2,2806	40	6,5160	66	10,7514	92	14,9868	118	19,2222
15	2,4435	41	6,6789	67	10,9143	93	15,1497	119	19,3851
16	2,6064	42	6,8418	68	11,0772	94	15,3125	120	19,5480
17	2,7693	43	7,0047	69	11,2401	95	15,4756	121	19,7109
18	2,9322	44	7,1676	70	11,4030	96	15,6384	122	19,8738
19	3,0951	45	7,3305	71	11,5659	97	15,8013	123	20,0367
20	3,2580	46	7,4934	72	11,7288	98	15,9642	124	20,1996
21	3,4209	47	7,6563	73	11,8917	99	16,1271	125	20,3625
22	3,5838	48	7,8192	74	12,0546	100	16,2900	126	20,5254
23	3,7467	49	7,9821	75	12,2175	101	16,4529	127	20,6883
24	3,9096	50	8,1450	76	12,3804	102	16,6158	128	20,8512
25	4,0725	51	8,3079	77	12,5433	103	16,7787	129	21,0141
26	4,2354	52	8,4708	78	12,7062	104	16,9416	130	21,1770

Division Vivien. — On voit d'après le tableau qui précède que le point 100 du saccharimètre correspond à 16,29 de sucre dans 100 centimètres cubes. Par conséquent, si au lieu d'écrire 100 sur le limbe on écrivait 16,29, la simple lecture dirait combien 100 centimètres cubes de liquide contiennent de sucre.

Pour l'analyse des jus sucrés, par exemple en sucrerie pour la polarisation des jus de betterave et des liquides en travail, cette observation a son importance, car on évite ainsi l'emploi des tables ou des calculs si l'on n'a pas la table sous les yeux, c'est-à-dire la perte de temps. Or, le temps est précieux en fabrication.

Vivien a donc fait diviser le limbe du saccharimètre de telle sorte que le point 100 actuel corresponde à 162,9, donnant, par conséquent, le poids de sucre au litre. Il en résulte que le point 100 de la division Vivien représente 100 grammes de sucre.

Cette division est donc très intéressante, et peut d'ailleurs s'adapter à tous les saccharimètres en laissant la division en degrés, car on peut avoir aussi bien trois verniers que deux sur le curseur.

Saccharimètre Schmidt et Haensch. — En Allemagne, le saccharimètre Soleil a subi les mêmes modifications qu'en France, et l'on ne s'y sert plus aujourd'hui que du saccharimètre à pénombre.

L'appareil que nous décrivons actuellement, comporte, en outre, un compensateur Soleil à coins de quartz pour n'employer que la lumière blanche.

La partie optique se compose d'une lentille à plan convexe du côté de l'entrée de la lumière, et d'un polariseur dont la taille diffère un peu du prisme Cornu ; puis, après le tube polarimétrique, des quartz compensateurs, d'un Nicol, et enfin, d'une lunette de Galilée.

Les petites différences qui distinguent ce saccharimètre de ceux de France sont du domaine de la construction proprement dite ; nous ne les approfondirons pas ici. Nous dirons seulement que cet appareil est très bon et supporte la comparaison avec les nôtres.

Quant à sa graduation elle n'est pas la même que pour les saccharimètres français.

En France, les constructeurs partent d'un étalon immuable qui est la lame de quartz d'un millimètre, dont la déviation est connue, et à laquelle on rapporte la déviation d'un poids de sucre correspondant, dissous dans 100 centimètres cubes métriques. A quelque époque du monde que l'on se rapportera, l'étalon sera toujours le même, et les physiiciens pourront toujours le retrouver.

En Allemagne, le point 100 de l'appareil correspond à la déviation produite par un liquide sucré de 1,100 de densité, à la température de 17°,5, observé dans un tube de 200 millimètres.

A cette densité, le liquide contient exactement 26,048 grammes de sucre dans 100 centimètres cubes, système de Mohr.

Si l'on veut régler un saccharimètre en France, on achète chez le bon faiseur une lame de quartz de 1 millimètre, on la fait vérifier si l'on veut dans les laboratoires de l'État, et quand on possède cet étalon on peut toujours, à tout moment, vérifier le point 100 de son instrument.

En Allemagne, on doit : faire du sucre pur, le peser exactement, le dissoudre dans 100 centimètres cubes exactement, le mettre dans un tube exact de 200, avoir la température de 17°,5 exacte, ce qui constitue cinq causes d'erreur. Dans un laboratoire de sucrerie, on n'est pas outillé pour faire ces opérations exactes, en sorte qu'il est impossible de vérifier le point 100 de son instrument, à moins..... d'acheter une plaque de quartz au bon faiseur, etc.

Nous pensons donc que la graduation française est infiniment plus rationnelle que celle d'Allemagne.

Quoiqu'il en soit, la prise d'essai pour le saccharimètre Schmidt et

Höensch est de 26,048 grammes dans 100 centimètres cubes, et c'est ce poids qui est employé dans toutes les analyses, et devra être dissous dans 100 centimètres cubes Mohr.

Des tables de concordance ont été établies entre le saccharimètre allemand et le saccharimètre français pour permettre aux chimistes des deux pays de contrôler leurs travaux, et de se servir des tables de polarisation dressées à cet effet.

Polarimètre de Wild. — Il existe encore beaucoup d'autres polarimètres dont pas un n'équivaut à celui de Laurent. Cependant celui de Wild, fort usité en Allemagne, mérite une description sommaire.

C'est un polariscope de Savart, modifié suivant les données du saccharimètre Soleil. Il se compose d'un Nicol polariseur A (fig. 191) d'un analyseur E, formé de deux quartz de Savart, que nous allons décrire, et d'un Nicol placé en avant d'une lunette de Galilée. Le biquartz de Savart est formé de deux cristaux octogones, hauts de 20 millimètres, en cristal de roche, lesquels deux sont taillés à 45° de l'axe optique, et puis collés ensemble, de telle sorte que leurs sections principales soient

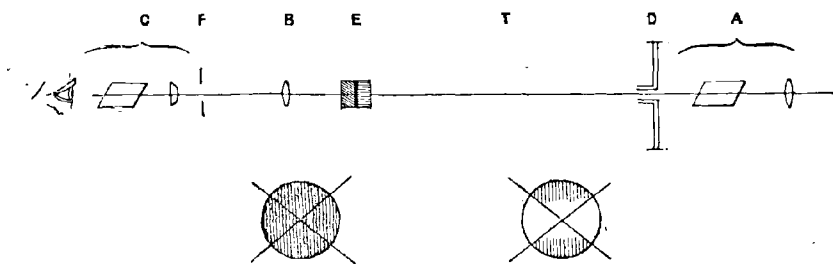


Fig. 191.

perpendiculaires. Un pareil système, considéré entre deux Nicols, laisse apparaître au foyer de la lunette un disque coupé de franges noires et blanches que l'on fait disparaître en tournant le polariseur à 90° . Interpose-t-on alors entre le biquartz et le polariseur un tube d'eau sucrée en T, les franges apparaissent de nouveau. On les fait disparaître par une nouvelle rotation du polariseur fixé à un vernier circulaire D qui permet de lire sur un cylindre gradué le pouvoir rotatoire du liquide. Le disque lumineux ne laisse pas éteindre complètement les franges; les extrémités restent toujours apparentes. Dès lors, pour faciliter l'observation, au foyer de la lunette F, on a placé deux fils en croix dont l'image est vue sur le disque à frange; deux cadrans opposés contiennent les extrémités des franges, et les deux autres doivent rester parfaitement nets après leur disparition.

L'appareil est gradué comme suit :

Si C est la quantité de sucre contenue dans le tube, α l'angle de rotation que l'on fait subir au Nicol pour faire disparaître les raies, l la longueur du tube contenant le sucre, on a pour le sucre de canne :

$$C = 1506,6 \frac{\alpha}{l}$$

et pour le sucre de diabète ou glucose :

$$C = 1984 \frac{\alpha}{l}$$

TITRE III

DOSAGE DU SUCRE INTERVERTI

On sait que le sucre cristallisable traité par un acide se transforme en sucre dit interverti. Comme ce sucre interverti jouit des propriétés réductrices du glucose, on l'appelle généralement, mais improprement, *glucose*, dans l'industrie sucrière. Nous le rencontrons fréquemment associé au sucre parmi les matières qui ne cristallisent pas.

Le dosage de ce sucre interverti est une opération importante et délicate; nous allons passer en revue les divers procédés employés; nous en ferons la critique en son lieu et place.

§ 1. — Procédé Clerget.

Le sucre polarise la lumière à droite; le sucre interverti au contraire tourne à gauche la lumière polarisée. Biot admettait que 2 gr.88 de sucre inverti dissous dans 1 litre de liqueur, marquent 1° au saccharimètre. Ce nombre trouvé trop fort depuis a été réduit à 2 gr.85.

Lorsque l'on intervertit le sucre cristallisable, on ajoute 1/10 d'acide à la dissolution, et l'observation se fait au saccharimètre dans des tubes de 1/10 plus longs que les tubes ordinaires, soit de 22 centimètres, et surmontés d'un ajutage sur son milieu, dans lequel on puisse introduire un petit thermomètre. Clerget a construit une table donnant la quantité de sucre cristallisable correspondant aux indications du saccharimètre avant et après l'inversion. On s'en sert ainsi :

Soit A la lecture directe, c'est-à-dire avant l'inversion.

Soit B — inverse, c'est-à-dire après cette opération.

On fait la somme $A + B = C$ si la lecture est du sens contraire.

Et la différence $A - B = C$ — est du même côté de l'échelle.

On aura en posant P la richesse % en sucre cristallisable.

— T la température à laquelle se fait l'observation.

$$P = \frac{200 \times C}{288 - T}$$

Et le nombre de grammes de sucre X contenu dans un litre de solution avant l'inversion sera :

$$X = 1,635 \times \frac{200 \times C}{288 - T}$$

C'est sur cette formule qu'a été construite la table de Clerget.

Elle doit être corrigée depuis que le nombre 16,35 a été remplacé par 16,29 et 2,88 par 2,85.

§ 2. — Liqueur alcalino-cuprique.

Un chimiste allemand, Trommer, découvrit que le glucose et le sucre inverti précipitent, sous la forme d'oxydure rouge, le cuivre des sels de ce métal dissous dans une liqueur alcaline, en présence d'un sel à acide organique.

Plus tard, Barreswill, étudiant le même phénomène, prépara une liqueur titrée de sulfate de cuivre correspondant à la destruction d'un certain poids de glucose.

La liqueur avait la composition suivante :

Sulfate de cuivre pur	34 ^{gr} 65
Eau	200
Sel de seignette (tartrate double de soude et potasse)	173
Lessive de soude caustique à 1,14	480 cc.
Total 1 litre à la température de 17°5.	

Un autre chimiste, Lowenthal, donnait à une liqueur analogue la composition suivante pour 1 litre :

Acide tartrique	3 onces ou 90 grammes.
Soude caustique	18 — 540 —
Sulfate de cuivre	1 — 30 —

Enfin Fehling remédia à certains inconvénients que présentaient les liqueurs précédentes, et dont nous parlerons tout à l'heure, par la formation d'une liqueur qui porte son nom comme le procédé lui-même.

Voici quelle est sa composition :

Prendre d'une part :

Sulfate de cuivre pur cristallisé	40 grammes.
Eau	160 —
D'autre part :	
Eau	600 —
Sel de seignette	200 —
Solution de soude caustique de D = 1,12 . . .	700 centimètres cubes.

Mélanger et faire bouillir les deux solutions, il se forme un précipité qui se redissout. Faire du tout un volume de 1154,5 centimètres cubes ; 10 centimètres cubes de la solution correspondront à 0,05 de sucre interverti ou à 0,0475 de sucre de canne.

Mohr a modifié les nombres de Fehling d'une manière proportionnelle pour réduire le volume à 1 litre et non au nombre incommode de 1154,5. La formule devient alors :

{ Sulfate de cuivre 34,64	} Faire du tout 1 litre à 15°.
{ Eau 160	
{ Lessive de soude 6 à 700	
{ Tartrate de potasse 150	
{ (ou sel de seignette 187)	

Plus tard Violette, changeant un peu les données du problème, fit une liqueur dont chaque 10 centimètres cubes correspondait à 0,05 de sucre de canne et 0,0526 de glucose.

Ajoutant en outre un perfectionnement à la composition de cette liqueur par l'emploi de lessives caustiques plus concentrées qui rendent les liqueurs plus stables, il emploie la formule suivante :

{ Sulfate de cuivre pur 36 ^{gr} 46	} Faire du tout 1 litre à 15°.
{ Eau 140	
{ Sel de seignette pur 200	
{ Lessive de soude caustique à	
{ 24° Baumé, soit D = 1,199. 500 cc.	

Ces formules sont basées sur les faits suivants :

1 Equivalent de glucose ($C^6H^{12}O^{12} = 180$) précipite à l'état d'oxydure de cuivre, en s'oxydant lui-même, le cuivre de 10 équivalents de sulfate de cuivre ($CuO, SO^3 + 5 HO = 1246,8$) dissous dans la solution alcaline d'un tartrate. De ces nombres on déduit que 5 grammes de glucose correspondent à 34,64 de sulfate de cuivre, nombres sur lesquels Fehling a basé sa liqueur qui est telle que 10 centimètres cubes correspondent à 0^{gr},05 de glucose ou de sucre interverti.

Le tartrate employé par Barreswill et Fehling était d'abord le tartrate

neutre de potasse ; mais ce sel avait l'inconvénient d'être mal cristallisé et de se prêter mal à une purification parfaite. Le sel de Seignette ou tartrate double de potasse et de soude ($C^8H^4KNaO^{12}, 4H^2O^*$) forme au contraire des cristaux magnifiques et fut choisi de préférence pour ces raisons. Cependant aujourd'hui on peut se procurer le tartrate de potasse en de très bonnes conditions de pureté, en cristaux très beaux ; on peut donc en ce cas revenir à son emploi. -

Pour fabriquer ces liqueurs on fait d'abord la solution de tartrate dans l'eau, on la charge de la soude et on chauffe, tout en versant la solution de sulfate de cuivre. Un abondant précipité bleuâtre d'oxyde de cuivre se forme et se dissout bientôt dans la liqueur qui devient d'un beau bleu foncé ; on fait bouillir assez longtemps dans une capsule en cuivre ou en argent, puis on laisse refroidir, et complète avec de l'eau distillée le volume normal. Alors, après un long repos, on sépare par décantation le dépôt qui s'est formé dans le fond, et on enferme la liqueur dans une bouteille noire, ou simplement placée à l'abri de la lumière. Lorsque l'on veut s'en servir on doit s'assurer de sa richesse au moyen d'une liqueur titrée de sucre interverti normale.

Cette seconde liqueur est faite ainsi : On prend 9^{es},5 de sucre bien pur, marquant au moins 99 % au saccharimètre, on les dissout dans 100 centimètres cubes d'eau environ, y ajoute 2 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur, et porte le mélange sur le bain-marie pendant 10 à 15 minutes. Après refroidissement on verse ce liquide dans un flacon jaugé de 1 litre, et complète le volume avec de l'eau distillée à 15° de température. Or, 171 de sucre (1 équivalent) forment sous l'action de la chaleur 180 de sucre interverti (1 équivalent), ou bien 9,5 de sucre donnent naissance à 10 de sucre interverti ; donc chaque centimètre cube de la liqueur de sucre interverti correspond à 0,05 de glucose.

Dès lors, si avec cette liqueur on essaie celle de Fehling, il faudra employer exactement 5 centimètres de liqueur sucrée pour 10 centimètres cubes de liqueur de Fehling, si cette dernière est exactement faite. Mais il arrive souvent que l'on n'arrive qu'à un dixième ou 1 dixième 1/2 en plus ou en moins. Ce qui veut dire que 5 centimètres cubes, ou 4^{es},9 par exemple, correspondent à la constante 0,05 de sucre réducteur, nombres sur lesquels on base ses calculs.

Quant à la manière de faire usage de ces liqueurs, celle qui nous a paru constamment la meilleure comme travail courant, est celle préconisée par Violette. On verse dans un tube en verre bien blanc de deux ou trois centimètres de diamètre, fermé à son extrémité, 10 centimètres cubes de liqueur bleue, au moyen d'une pipette graduée. Les tubes en verre sont remplacés avec avantage par des tubes en cristal bien recuits qui

cassent beaucoup moins au feu. On porte à l'ébullition au-dessus d'un bec de gaz, ou d'une lampe à alcool à son défaut. D'autre part, la liqueur sucrée est introduite dans un tube gradué muni d'un robinet inférieur, dit burette de Mohr. On fait tomber cette liqueur goutte à goutte dans la liqueur bleue que l'on porte après chaque addition à l'ébullition. On voit alors le liquide de bleu foncé devenir bleu clair, bleu verdâtre, verdâtre presque incolore, puis incolore. C'est le moment où l'opération est terminée. Le cuivre précipité à l'état d'une poudre rouge tombe au fond du tube. Le meilleur moyen de faire l'observation de la couleur est de tenir le tube incliné au-dessus d'un papier blanc et de voir la liqueur par transparence de haut en bas. Si l'on continuait à ajouter du liquide sucré dans la liqueur décolorée, qui, par conséquent, ne contient plus de cuivre dissous, le glucose se trouvant tomber dans un liquide alcalin bouillant se décomposerait, et le liquide dans le tube deviendrait jaune clair, puis jaune d'or, puis jaune sale, enfin noirâtre. On s'arrête en général à l'apparition de la couleur jaune-paille pour une goutte de liqueur sucrée. La graduation de la burette indique la quantité de liquide sucré employée pour décomposer tout le cuivre contenu dans 10 centimètres cubes de liqueur bleue, et une simple proportion indique la quantité de glucose correspondante contenue dans ce volume de liquide.

La liqueur de Fehling bien préparée, surtout celle qui a été modifiée par Violette, se conserve fort bien ; dans les travaux ordinaires de chimie industrielle, elle fonctionne d'une manière suffisamment exacte, pourvu que l'emploi en soit fait régulièrement et suivant de bons principes. C'est ainsi que, tout le temps de l'opération, on doit conserver la liqueur cupropotassique assez chaude, sinon bouillante, pour éviter les oxydations dues à l'air extérieur ; l'emploi d'un tube fermé comme celui que nous avons indiqué est donc préférable à celui d'un vase largement ouvert, puisqu'on y opère toujours sous une couche de vapeur d'eau. Pour le même motif, on ne doit jamais mélanger une quantité de liquide sucré trop grande à la liqueur cupropotassique, car on refroidit le mélange, et le précipité au lieu d'être rouge et de se bien ramasser, devient jaunâtre, léger, et entrave la perception des couleurs. Il ne faut pas non plus agir sur une trop grande masse de liquide, car le chauffage de la liqueur dans les tubes est difficile, et l'opération périlleuse, la vapeur formée dans le fond du tube pouvant projeter au dehors une portion du liquide. Dans le cas où l'on a affaire à une liqueur contenant peu de sucre réducteur, on ne doit donc employer que 5 et même 2 et 1 centimètre cube de liquide cupropotassique. Enfin, il est évident que ces liqueurs ne sont pratiques que dans les conditions

ordinaires d'analyse, et que si l'on demande plus que le degré possible de sensibilité, réglé par la coloration plus ou moins intense de la liqueur, on est dans le faux. Avec des liqueurs claires, on pourra avoir plus de sensibilité qu'avec des liqueurs foncées en couleur, et des liquides très chargés de sucre réducteur demandent à être étendus d'eau pour diminuer l'intensité de la coloration bleue ou jaune, et inversement on ne doit jamais étendre de plus de dix fois le volume de la liqueur bleue avec des liqueurs sucrées, même limpides, car, au delà, la perception des couleurs devient impossible, et les causes d'erreurs considérables.

Le fait de la précipitation de l'oxyde de cuivre, avait donné l'idée de peser cet oxyde de cuivre précipité, et d'en déduire la quantité de glucose correspondante, car la perception de la couleur et du passage du bleu presque blanc au jaune très pâle est difficile, surtout lorsque la liqueur sucrée est colorée, ou bien fort étendue d'eau. Mais peser l'oxyde est une opération délicate qui n'a jamais donné de résultats concordants, attendu que l'oxyde ($\text{Cu}^{\circ}\text{O}$), au lieu d'être constamment rouge, est parfois jaunâtre et n'a plus la même composition, qu'ensuite il a une tendance continuelle à se dissoudre au sein d'une liqueur aussi alcaline que celle qui le contient, et que le phénomène de la décoloration n'est parfait qu'autant que l'opération est menée vivement, et par conséquent le filtrage et le lavage de l'oxyde est rempli d'incertitudes. On a renoncé à ce procédé. Cependant A. Girard l'a repris en modifiant la manipulation, de telle sorte que l'on ne pesât plus le cuivre à l'état d'oxyde, mais à l'état métallique. Voici comment il décrit lui-même son mode d'agir :

« Après avoir porté à l'ébullition 100 centimètres cubes, par exemple, d'une liqueur cupropotassique bien préparée et résistant à cette épreuve, j'y laisse tomber, brusquement, un volume déterminé de dissolution sucrée, volume tel qu'une portion seulement de la liqueur cupropotassique s'en trouve décomposée; pendant une minute ou deux je maintiens le mélange à l'ébullition, et aussitôt que le précipité d'oxydure a pris la belle teinte rouge qui en caractérise l'état grenu, je le jette sur un filtre à filtration rapide, et là je le lave à l'eau bouillante jusqu'à ce que l'eau de lavage n'ait plus aucune réaction alcaline. L'opération, si elle est bien conduite, est d'ailleurs des plus rapides; quelques minutes suffisent pour la mener à bonne fin. Le filtre une fois lavé est replié sur lui-même, couché dans une nacelle de platine, séché rapidement à la lampe à gaz, et brûlé au contact de l'air; puis, après refroidissement, la nacelle est introduite dans un tube de verre où l'on réduit l'oxyde par un courant d'hydrogène pur.

Du poids de cuivre fourni, c'est chose facile que de déduire le poids

du sucre réducteur. L'expérience démontre, en effet, qu'à 1 gramme de cuivre réduit correspond un poids de 0^{sr},569 de sucre réducteur. . .

A moins de circonstances déplorables, et si le travail est bien disposé, une heure suffit pour déterminer de cette façon, avec certitude, la proportion du sucre réducteur et de saccharose que renferme un échantillon commercial de sucre. »

Un autre mode qui se présentait, était de doser le cuivre non précipité provenant de l'action d'un certain volume de liqueur sucrée sur un volume déterminé aussi de liqueur cuivrique. Possoz a suffisamment résolu le problème de la manière suivante :

Il forme sa liqueur cupropotassique d'une manière un peu différente de celles que nous avons décrites :

Il fait dissoudre : 235 gr. de tartre dans :
200 d'eau distillée, et on ajoute assez de soude caustique pour avoir une solution alcaline.
On ajoute : 450 cc. lessive de soude à 36°.

D'autre part on dissout 45 grammes de sulfate de cuivre dans 100 centimètres cubes d'eau.

On effectue le mélange des deux liquides en rinçant bien le vase contenant le sulfate de cuivre, et l'on fait bouillir à petit feu pendant 15 minutes environ. Après refroidissement on ajuste la liqueur de manière que 10 centimètres cubes soient précipités par 0,01 de sucre interverti. Ceci fait, on mélange à 10 centimètres cubes de la liqueur bleue un volume de liquide sucré tel que tout le cuivre ne soit pas précipité, et l'on porte le mélange pendant quelques minutes sur un bain-marie.

L'opération peut se faire dans un petit matras. On filtre le liquide qui est légèrement bleu, on lave le matras et le filtre avec environ 40 centimètres cubes d'eau bouillante, et on acidule avec l'acide acétique le liquide filtré, de manière à transformer tout le cuivre dissous à la faveur de l'alcali en acétate. Dans cette liqueur on dose le cuivre au moyen du prussiate. Pour titrer ce cuivre on y verse, 1 centimètre cube environ de solution de prussiate jaune à $\frac{2,5}{1000}$, on chauffe pour réunir le précipité en flocons qui se déposent, on verse encore du prussiate jusqu'à cessation du précipité en chauffant et agitant chaque fois. A la fin le liquide cesse ordinairement de s'éclaircir par le repos; on est obligé de filtrer pour s'assurer de la fin de l'opération.

10 centimètres cubes de liqueur bleue sont décomposés par 100 centimètres cubes de prussiate et 0^{sr},1 de sucre interverti; avec ces éléments on calcule la quantité de sucre interverti contenu dans la liqueur.

A la place du prussiate on pourrait employer le sulfure de sodium.

Possoz, au lieu de doser le cuivre qui reste dans la liqueur, indique aussi un procédé pour doser le cuivre précipité. A cet effet le filtre qui retient l'oxydure rouge est introduit dans le petit matras dans lequel on a déjà fait la réduction, traité par 20 centimètres cubes d'acide chlorhydrique de densité égale à 1,080 pour dissoudre l'oxydure en chauffant légèrement, on ajoute 10 centimètres cubes de solution de chlorate de potasse pour transformer le protochlorure en bichlorure de cuivre; on chauffe encore un peu; on sature l'excès d'acide par du carbonate de potasse jusqu'à formation d'un léger précipité que l'on redissout par l'acide acétique jusqu'à réaction acide, puis on dose le cuivre dans la liqueur comme précédemment au moyen du prussiate.

Dans ces deux procédés il est bon de ne faire les dosages que sur une portion de la liqueur pour pouvoir les répéter sur l'autre.

De nombreux chimistes ont battu en brèche les liqueurs de Fehling et Violette; c'est ainsi que Leloup objecte que l'oxydure de cuivre absorbe facilement l'oxygène de l'air et tend constamment à reconstituer la liqueur bleue, ce que l'on éviterait en partie par l'ébullition soutenue; mais cette ébullition même des liqueurs sucrées en présence de tartrates alcalins régénérerait d'autre part des quantités minimales mais réelles de glucose. Pour parer à ce dernier inconvénient Violette augmente la proportion de soude caustique; mais Feltz, Loiseau ont reconnu que la soude en excès agit sur le sucre cristallisable et redissout l'oxydure de cuivre. De plus Feltz a fait remarquer un fait plus grave encore, c'est qu'avec ces liqueurs très alcalines, en présence d'un grand excès de sucre, les recherches du glucose sont fort erronées. Enfin Patterson a observé de son côté que le pouvoir oxydant des liqueurs varie dans certaines limites avec la quantité de soude qu'elles renferment, en sorte que le cuivre n'est jamais totalement précipité.

Du chaos de toutes ces observations résultait ce fait que la présence des alcalis caustiques était plus nuisible qu'utile. C'est alors que l'on vit qu'une liqueur neutralisée par l'acide carbonique, donnait des indications aussi exactes et plus sûres que la liqueur primitive, et Possoz basa un procédé de dosage sur cette observation même. Il avait remarqué que lorsque l'on essaie de précipiter par l'acide carbonique, ou un bicarbonate, le cuivre de la liqueur, une partie seulement du cuivre se précipitait, l'autre restait en dissolution stable, cette nouvelle liqueur ne se décomposant aucunement par le sucre de canne entre 60 et 75°, températures auxquelles le glucose précipite l'oxydure. Ceci observé, Possoz fit la liqueur suivante.

- 1° 300 gr. sel de seignette. } auxquels on ajoute :
 300 gr. eau distillée,
 100 cc. lessive de soude caustique à 36° B (D = 1,326.)
- 2° 40 gr. sulfate de cuivre.
 100 gr. eau distillée.
- 3° On fait le mélange des deux liqueurs et on ajoute :
 150 gr. bicarbonate de soude.

On fait bouillir pendant une heure, soit jusqu'à cessation de dégagement d'acide carbonique, on laisse refroidir et on complète le volume de 1 litre. On laisse reposer au moins pendant six mois, et on filtre sur papier blanc. Alors la liqueur demeure parfaitement stable, on l'ajuste avec de l'eau de manière à ce que 0^{gr},1 de sucre interverti précipite le cuivre contenu dans 30 centimètres cubes, par exemple, de liqueur cuprique, ou à tel titre que l'on désirera.

Au lieu d'employer les sels de soude, Possoz a remarqué qu'on peut se servir des sels de potasse correspondants, et qu'alors la liqueur a l'avantage de pouvoir être concentrée davantage sans inconvénient, ce qui n'a pas lieu avec les sels de soude. De plus on lui donne plus de stabilité en employant 50 grammes de sulfate de cuivre par litre, au lieu de 40 et ajoutant à la liqueur après refroidissement 50 à 150 centimètres cubes de solution de sucre interverti à 1 %. On porte alors à l'ébullition pendant une heure; après refroidissement on peut titrer de suite, sans attendre comme précédemment six mois avant de s'en servir. On a donc tout avantage à opérer de la sorte.

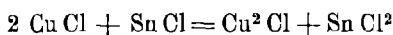
Cette liqueur n'agit pas aussi rapidement que les liqueurs alcalines; on doit chauffer le mélange au moins pendant une heure au bain-marie entre 60 et 70° pour que tout le glucose se décompose en précipitant l'oxyde de cuivre. Dans cette occurrence Possoz verse dans le liquide sucré un excès de liqueur cuprique et dose le cuivre précipité par différence en dosant celui qui reste dans la liqueur par un procédé connu quelconque, tel que par le prussiate, selon ce que nous disions tout à l'heure. On parvient ainsi à une approximation de 2 à 5 dix-millièmes en prenant les précautions nécessaires, déféquer au préalable les liqueurs sucrées, etc.

Pour doser l'excès de cuivre on peut employer de préférence le procédé de Weill, basé sur les faits suivants :

1° Un grand excès d'acide chlorhydrique, chauffé avec la solution d'un sel cuprique, lui donne une coloration verdâtre très visible, surtout quand les liqueurs sont bouillantes, ce qui tient à la formation du bichlorure de cuivre dont les solutions sont vertes.

2° En présence d'un excès d'acide chlorhydrique, et à la température de l'ébullition, le bichlorure de cuivre est réduit à l'état de protochlorure.

rure incolore par une solution de protochlorure d'étain également incolore :



Si donc la solution de protochlorure d'étain a été titrée avec un sel de cuivre pur, on appréciera facilement par la simple décoloration, la quantité de cuivre qu'une solution quelconque contiendra. Comme contrôle très sensible, si l'on ajoute au liquide quelques gouttes d'une solution concentrée de bichlorure de mercure, on pourra s'assurer par ce réactif qu'on n'a pas versé un excès de solution de protochlorure d'étain s'il ne se produit pas de précipité blanc de protochlorure de mercure. Mais quand la solution cuprique à examiner est très acide, la décoloration du liquide verdâtre est tellement nette, que ce moyen de contrôle est inutile.

Ce mode de dosage étant adopté, voici comment opère Possoz. Deux cas se présentent, suivant que la dissolution sucrée est limpide ou colorée. Si la liqueur est limpide, après avoir fait bouillir le liquide sucré avec la liqueur cupropotassique, il ajoute une quantité d'acide chlorhydrique suffisante pour saturer le carbonate, puis pour dissoudre le précipité d'oxydure rouge à l'état de chlorure (Cu^2Cl) incolore, et transformer le cuivre qui est resté en dissolution en bichlorure (CuCl) coloré en vert. On porte le liquide à l'ébullition sur un bain de sable, et on ajoute la solution de protochlorure d'étain qui n'agit que sur le bichlorure vert.

Si la liqueur est colorée on recueille l'oxyde rouge sur un filtre, on le lave et on le réintroduit avec le filtre dans le matras qui a servi à la réduction et dont les parois sont encore quelque peu tapissées d'oxyde rouge. Alors on verse l'acide chlorhydrique qui dissout l'oxydure à l'état de protochlorure incolore, on ajoute un peu de chlorate de potasse pour le transformer en bichlorure vert, et l'on dose ainsi le cuivre précipité, tandis que précédemment c'était le cuivre non attaqué dont on recherchait la quantité.

Les calculs se font en remarquant que :

100 centimètres cubes de liqueur saccharimétrique correspondent à 0,25 de sucre interverti pur et à 84,5 de protochlorure d'étain, quantités avec lesquelles sont formées finalement les liqueurs. De simples proportions indiquent le sucre contenu dans les matières analysées.

REMARQUE. — Il est un point des plus nécessaires à observer quand on fait un essai avec les liqueurs de cuivre, sous peine de commettre de grosses erreurs, c'est que les indications de ces liqueurs ne sont pas les mêmes pour une solution glucosique concentrée ou pour une autre

solution plus étendue. Ainsi : la liqueur de Fehling est titrée de manière à ce que 10 centimètres cubes correspondent à 0^{gr},05 de glucose, et la liqueur d'épreuve qui sert à cette vérification contient 10 grammes de sucre réducteur au litre, ce qui fait que pour décolorer 10 centimètres cubes de liqueur de Fehling, il faut exactement 5 centimètres cubes de liqueur d'épreuve. Cela posé, si l'on veut avoir des observations rigoureusement exactes avec la liqueur de Fehling, il faudra que la liqueur sucrée que l'on essaie renferme à peu près 10 grammes de sucre réducteur au litre, et l'on sera assuré dans ce cas d'obtenir un résultat se rapprochant autant que possible de la vérité. Il est loin d'en être de même si l'on emploie des liqueurs sucrées renfermant beaucoup plus ou beaucoup moins de sucre réducteur. Il résulte en effet des observations de nombreux chimistes, observations que nous avons d'ailleurs été à même de faire maintes fois, que lorsque l'on agit sur des liqueurs contenant beaucoup plus de sucre réducteur au litre, les nombres fournis par la liqueur sont trop faibles, et ceux obtenus par l'essai des liqueurs contenant beaucoup moins de 10 grammes de sucre réducteur au litre, sont trop forts. Ainsi, une solution contenant 20 grammes de sucre interverti au litre, donnera avec 20 centimètres cubes de liqueur de Fehling un nombre voisin de 4,9 et une autre contenant 5 grammes au litre donnera avec 5 centimètres cubes de cuivre, environ 5,1 au lieu de 5 que donnerait une liqueur normale contenant 10 grammes au litre. On voit donc que dans le premier cas il y a 2 % de différence en moins et dans le deuxième cas 2 % en plus. Il est donc indispensable, lorsque l'on est forcé de se servir de liqueurs sucrées de concentrations diverses, d'avoir établi d'avance, avec une liqueur normale de même concentration que celle que l'on essaie, quel est le *titre de la liqueur* pour cette concentration.

§ 3. — Dosage du Raffinose.

Lorsqu'on se trouve en présence d'un mélange de saccharose et de raffinose, la méthode Clerget est en défaut, puisque le raffinose influe sur la rotation droite du sucre. On en profite pour doser le raffinose par différence.

On commence donc par faire la polarisation directe qui donne un chiffre trop fort A.

On fait ensuite l'inversion, et on obtient une solution dans laquelle le raffinose a un pouvoir rotatoire de +50°,7 à 20° C, et on la polarise ; on trouve (—B).

On applique alors la formule de Creydt qui donne le sucre cristallisable au moyen de ces deux polarisations, à 20° C.

$$S = \frac{C - 0,489 A}{0,810}$$

C étant la somme A + B, comme dans le procédé Clerget, connaissant le saccharose S, on en tire le raffinose R par la formule :

$$R = \frac{A - S}{1,54}$$

On a ainsi le raffinose hydraté. Si l'on voulait le raffinose anhydre on prendrait :

$$R = \frac{A - S}{1,78}$$

Ces formules se rapportent aux saccharimètres français. Pour les saccharimètres allemands on aurait les formules :

$$S = \frac{C - 0,493 A}{0,827} \quad R = \frac{A - S}{1,85} \text{ (anhydre)}$$

Lorsque dans un sucre on a un mélange de saccharose de sucre réducteur et de raffinose, le problème est beaucoup plus difficile.

Pellet propose dans ce cas de détruire simplement le sucre réducteur en faisant bouillir la solution pendant 1/4 d'heure en présence de la potasse qui est sans action sur le saccharose et le raffinose, ce qui permet ensuite de doser ces deux derniers comme précédemment. Pellet fait observer que le lévulose traité par la potasse donne un produit qui a un léger pouvoir rotatoire à gauche égal à - 0,4 pour le poids normal. Il faut donc en tenir compte lors de la polarisation directe. Après inversion le pouvoir rotatoire disparaît.

§ 4. — Liqueurs diverses.

D'autres procédés ont été proposés pour doser le sucre incristallisable. Par exemple :

Liqueur au nitrate de bismuth. — Franqui et Van Vyvère ont proposé pour doser le glucose le nitrate de bismuth qu'on additionne d'un grand excès de potasse et ensuite, peu à peu, d'une solution d'acide tartrique jusqu'à solution complète du précipité en chauffant modérément.

Liqueur au cyanure de mercure. — Knapp dose le glucose par le cyanure de mercure; le mercure métallique se précipite.

Procédé Dubrunfaut. — Dubrunfaut a indiqué un procédé d'un autre ordre, qui, dans le cas où l'on n'a que du glucose ou du sucre interverti à doser sans être en présence du sucre cristallisable, donne de précieux résultats.

En chauffant à 100° une solution de glucose avec une liqueur alcaline titrée, puis reprenant le titre alcalimétrique après la réaction, on a la quantité d'alcali détruite par le glucose. En effet 100 grammes de sucre interverti détruisent à 100° une quantité d'alcali équivalente à 830° de la liqueur alcalimétrique normale, ce qui correspond fort approximativement à 1 1/2 équivalent d'alcali absorbé par la destruction de 1 équivalent de matière sucrée. Le produit est très foncé, et rend quelquefois difficile la perception des réactions colorées alcalimétriques, ce qui fait que l'on ne peut guère doser que des millièmes de glucose. Cette méthode exige donc l'emploi d'une liqueur alcaline normale, d'une liqueur acide correspondante pour titrer l'alcali, liqueurs qui se trouvent ordinairement dans tous les laboratoires. Les calculs sont basés sur ce que :

1 1/2 éq. de soude.	= 46,5
1 équiv. de sucre, transformé en glucose, qui détruit cette soude.	= 171
1 équiv. de glucose	= 180
100 cc. de la liqueur sulfurique contiennent .	10 gr. d'acide sulfurique.
100 cc. de liqueur sodique saturée par 100 de liqueur sulfurique contiennent	9,621 de soude.

Dosage du sucre par le fer. — Riffard a imaginé un procédé de dosage du sucre de canne basé sur ce que le fer ne se précipite pas par l'ammoniacque en présence d'une certaine quantité de sucre. 100 milligrammes de fer exigent 2,587 de sucre en présence pour rester en solution après addition de l'ammoniacque. Une quantité plus faible de sucre n'empêche pas le précipité caractéristique du fer en excès. De sorte que si dans une solution ammoniacale de sucre on ajoute un sel de fer titré, d'après la quantité qu'on en ajoute on calculera la quantité de sucre pur contenu dans la liqueur. Il ne doit pas y avoir de glucose en présence.

§ 5. — Manipulations.

Dans tout ce que nous venons de dire il y a une série de préparations qu'il est important de bien faire. C'est ainsi que les solutions doivent être faites avec des produits très purs. Nous indiquerons en quelques mots le meilleur procédé à employer dans la préparation de ces produits purs.

Sucre pur. — Le principal produit à obtenir pur, et celui que l'on a le moins souvent en cet état, est le sucre. Le sucre bien raffiné contient encore des matières salines et du glucose; le sucre candi est encore moins pur que le raffiné. On peut obtenir le sucre absolument pur, selon Possoz, par des cristallisations successives dans l'eau distillée, séparant chaque fois le sirop et répétant ces cristallisations jusqu'à ce que le sucre ne laisse plus aucun résidu par l'incinération sulfurique. Le sucre purifié de substances minérales fixes est ensuite claircé par de l'alcool pur très rectifié qui le débarrasse de toute trace de sucre incristallisable. On peut aussi précipiter en poudre cristalline de sa solution aqueuse le sucre préalablement purifié de matières salines, en mélangeant cette solution très concentrée avec de l'alcool pur et bien rectifié, puis en clairçant cette poudre avec de l'alcool.

Sulfate de cuivre cristallisé. ($\text{CuOSO}^2 + 5\text{H}_2\text{O}$). — Le sulfate de cuivre que l'on emploie dans la confection des liqueurs doit être très pur. D'ailleurs, en général, on gagne toujours à employer des produits purs dans les préparations des liqueurs, quelque imparfaites que soient leurs indications, car on n'ajoute pas ainsi des causes nouvelles d'erreurs à celles inhérentes au procédé même. On trouve chez les marchands de produits chimiques du sulfate de cuivre suffisamment pur, mais si l'on veut le préparer soi-même, on agira comme suit.

On fait une solution à chaud du sulfate de cuivre ordinaire du commerce, on la filtre, et on y ajoute une quantité d'acide sulfurique suffisante pour rendre la liqueur acide; ensuite on la place au bain-marie, dans une capsule de porcelaine ou une terrine et on porte le bain à l'ébullition. Alors dans la solution on plonge des barreaux de fer bien décapés. On voit immédiatement ces barreaux se couvrir de cuivre métallique que l'on n'a qu'à gratter de temps en temps pour avoir du cuivre parfaitement pur. Il faut éviter de détacher du fer en même temps que l'on enlève le cuivre, ce qui exige que les barreaux soient toujours en parfait état. Ce cuivre est alors lavé à l'eau distillée bouillante, puis mis en digestion dans des fioles chauffées au bain-marie avec de l'acide chlorhydrique très étendu qui dissoudra le fer qui reste toujours en très faible quantité attaché au cuivre. La dernière eau ne doit contenir ni fer, ni sulfate, ce que l'on reconnaît au moyen d'ammoniaque qui ne doit pas produire de précipité ocreux, et de chlorure de barium qui ne donnera aucun précipité blanc. Alors on lave à l'eau distillée bouillante, et lorsque cette eau ne précipite plus par le nitrate d'argent, ce qui prouve qu'il n'y a plus d'acide chlorhydrique, on fait sécher le cuivre qui est parfaitement pur.

Pour dissoudre ce cuivre dans l'acide sulfurique, on commence par le convertir en oxyde, en le plaçant dans des vases ouverts en terre, appelés *téts*, sur un feu qui les porte au rouge. Lorsque le cuivre est complètement grillé, on le dissout dans l'acide sulfurique faible et pur, on filtre sur papier blanc, on fait cristalliser, redissout les cristaux, fait cristalliser de nouveau, et l'on a ainsi du sulfate parfaitement pur, que l'on fait sécher entre des feuilles de papier, après l'avoir laissé égoutter et lavé rapidement avec de l'eau distillée. Une fois sec, on l'enferme dans des flacons bouchés.

La solution normale du sulfate de cuivre se fait avec :

7^{gr},867 de sulfate de cuivre cristallisé,
500^{gr} d'eau distillée.

Cette solution contient 2 grammes de cuivre pur, soit $\frac{2}{5}$ ou 0^{gr},4 dans 100 centimètres cubes.

Sel de Seignette. — Pour préparer ce beau sel, si on ne se le peut procurer, prenez de la crème de tartre du commerce, et pulvérisez-là, soit 500 grammes. Puis 400 grammes de carbonate de soude cristallisé, aussi pur que possible, le tout dans 1 litre $\frac{1}{2}$ d'eau environ. Chauffez au bain-marie, en remuant, car la solution se fait lentement. Dans cet état, vous vous assurerez si la solution contient des métaux étrangers, en faisant passer un courant d'acide sulfhydrique, ou ajoutant une solution de sulfure de sodium, jusqu'à cessation de précipité, et vous filtrerez, toujours à chaud. Par refroidissement, il se formera de beaux cristaux de sel, que l'on purifie par de nouvelles cristallisations. Les eaux-mères concentrées fournissent de nouveaux cristaux bien distincts de tartrate de soude, qui forme des aiguilles, et qu'il ne faut pas mélanger aux précédents.

Lessive de soude. — Dans un grand verre à pied, on introduit un entonnoir largement ouvert, reposant sur les bords du verre, de manière à ce qu'il ne plonge pas jusqu'au fond. On place dans l'entonnoir des plaques de soude du commerce, dite soude à la chaux, et l'on verse sur la soude de l'eau, jusqu'à ce que le niveau monte presque en haut du verre. Enfin, sur l'entonnoir, on pose une plaque de verre formant obturateur, pour éviter la chute des poussières et l'action trop directe de l'atmosphère. La soude se dissout en élevant la température de l'eau ; on soulève l'entonnoir à plusieurs reprises pour mélanger la liqueur fort dense, et l'on décante cette solution dans un flacon bouché. On recommence plusieurs fois l'opération, et l'on obtient ainsi un sirop

trouble qu'on laisse déposer plusieurs jours à l'abri de l'air, dans un flacon bouché. Au bout de ce temps on decante le liquide qui surnage, et qui marque 45° Baumé; on l'ajuste à 35°; on laisse encore reposer dans des flacons plusieurs semaines, on decante de nouveau le liquide, qui devient limpide, et l'on ajuste à 24 ou 22° B, selon les besoins. Il faut avoir bien soin, dans tout le cours de ces opérations, de bien essuyer les goulots des flacons avant de les fermer, sinon les bouchons s'y collent, et l'on a beaucoup de difficulté à les ouvrir ensuite. Dans ce cas, le meilleur procédé pour les déboucher est de retourner le flacon dans un verre plein d'eau, de manière que le goulot tout entier y plonge. Au bout d'un temps plus ou moins long, le bouchon se détache.

Solution de protochlorure d'étain. — On dissout, dans un matras placé sur un bain de sable, 5 à 6 grammes d'étain pur en grenaille ou en lames dans 250 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur, et l'on complète le volume de 1 litre avec de l'eau. Cette solution ne se conserve jamais intacte, et a besoin d'un titrage nouveau chaque fois qu'on s'en sert.

Remarque. — Nous aurons d'autres manipulations à indiquer à la fin de ce livre (Titre VI).

TITRE IV

ANALYSE DES LIQUIDES SUCRÉS

Les principaux liquides dans lesquels nous rencontrons la présence du sucre dans la fabrication sont :

Le jus de betterave.

Le jus après travail.

Le sirop.

Puis viennent différents liquides d'ordre secondaire qui proviennent de lavages divers, et qui ne devraient pas contenir de sucre, mais où l'on constate cependant sa présence. L'essai de ces liquides est non moins important que celui des premiers, car c'est sur eux que la surveillance doit s'étendre avec le plus de rigueur, puisqu'ils constituent les causes de perte de sucre, en même temps que certains produits solides sur lesquels nous nous arrêterons aussi. Ces liquides sont :

Eaux d'évacuation des diffuseurs,
— — filtres,
— d'évaporation du triple-effet et de la cuite en cas d'accident, etc.

§ 1. — Jus de Betterave.

Le procédé ordinaire des fabriques pour analyser les jus de betterave repose sur l'emploi de l'aréomètre et du saccharimètre.

On verse à cet effet dans une éprouvette à pied une quantité de liquide suffisante pour déborder, et on laisse en repos quelques minutes. En effet, au moment de l'extraction du jus par les presses au laboratoire, ou dans les transvasements successifs, il s'est introduit dans la masse des bulles d'air qui remontent à la surface, du bas en haut, et y séjournent ; il s'est formé aussi des mousses qui surnagent. Le repos les réunit ensemble, et en soufflant fortement à la partie supérieure de l'éprouvette, on fait tout tomber en dehors. Par l'addition d'une nouvelle quantité de liquide, on fait déborder de nouveau les mousses, jusqu'à ce que la surface soit suffisamment nettoyée. Alors on plonge l'aréomètre, dont la tige ne doit être entourée à la surface du liquide ni de mousses ni de bulles ; on est même parfois obligé de mouiller avec un peu d'alcool ou d'éther, ou mieux avec un mélange des deux, la tige de l'instrument, pour faire disparaître les bulles ; mais ce procédé est mauvais et influe, quoique très légèrement, sur la lecture aréométrique. Si l'on fait usage d'un aréomètre Baumé ou d'un densimètre, en se reportant aux tables que nous avons données, on aura la quantité de sucre que contiendrait le jus, s'il n'était formé que de sucre et d'eau. L'aréomètre Brix donne directement, à la simple lecture, cette quantité. C'est ce que l'on nomme le degré Brix du jus (voir les tables p. 903 et suivantes).

Pour connaître la véritable teneur en sucre du jus, on se sert du saccharimètre. A cet effet, on prend une fiole de 100 centimètres cubes dont le trait de jauge soit au bas du col, et telle que le goulot porte un autre trait dans le haut, contenant entre lui et le premier, une capacité de 10 centimètres cubes. On marque 100 au premier, 110 au second trait. On emplit ce flacon de jus jusqu'en haut, pour chasser les mousses et les bulles d'air contenues dans le liquide, et on évacue l'excédant avec une pipette, de manière à affleurer le ménisque inférieur du jus au degré 100. Un peu d'alcool et d'éther, déposé avec une baguette de verre, enlève les dernières bulles et facilite cette opération.

Ceci fait, on verse au-dessus du jus une solution concentrée de sous-acétate de plomb, que l'on fait affleurer au trait 110, puis, posant la

paume de la main sur l'ouverture, on renverse la fiole et l'agite pour opérer le mélange de l'acétate et du jus. On voit alors un précipité verdâtre abondant se former au sein du liquide ; on laisse un instant le contact effectuer complètement la combinaison, et l'on verse le tout sur un filtre. Le jus filtre dans ces conditions limpide, légèrement jaunâtre, quelquefois clair comme de l'eau.

Au lieu de sous-acétate, on a proposé l'emploi de l'hydrate d'alumine en gelée, 3 à 5 centimètres cubes pour 100 de jus à décolorer, ou bien le tannin, qui forment, avec les matières azotées du jus, des matières insolubles qui se précipitent ; on peut même associer ce dernier au sous-acétate, en versant d'abord quelques gouttes de tannin agitant et complétant le volume de 110 avec l'acétate.

Le liquide clair est alors introduit dans le tube du saccharimètre, et observé. Remarquons que, lorsque nous avons ajouté l'acétate, le volume du liquide a été augmenté de $\frac{1}{10}$, par conséquent la lecture du saccharimètre sera diminuée de $\frac{1}{10}$. Donc nous devons lui ajouter ce dixième pour avoir la richesse vraie du jus. Si, par exemple, nous lisons 12 sur l'échelle du saccharimètre, nous devons écrire $12 + 1,2 = 13,2$. Ce nombre indiqué par le saccharimètre indique le rapport qui existe entre la solution normale de 16,29 de sucre dans 100 et le jus sucré considéré, puisque la solution de 16,29 de sucre dans 100 centimètres cubes marque 100 au saccharimètre. Donc pour avoir la richesse absolue du liquide, il faudra :

$$\frac{x}{100} = \frac{100}{16,29}$$

d'où l'on tirera la valeur de $x = \frac{100 \cdot 16,29}{100}$, c'est-à-dire que la richesse

absolue du liquide sera égale au nombre lu sur le saccharimètre, multiplié par 0,1629. C'est ce que les tables de Clerget indiquent dans la colonne intitulée B, la colonne A représentant les nombres lus sur le saccharimètre ; seulement la colonne B est exprimée en millièmes, et le point de départ étant 16,35, au lieu de 16,29, lorsque l'on partira du titre 100 on lira 163,5 dans 1000, au lieu de 16,35 dans 100, ce qui est identique ; de même 13,2 représentera 21,57 de sucre dans 1000, ou 2,15 dans 100. La température de ces essais étant généralement celle des laboratoires, on n'en tient ordinairement pas compte. Nous avons donné un tableau où ces calculs sont faits d'avance pour 16,29 (page 938).

Il y a une autre manière de faire l'essai, c'est de chercher directement au saccharimètre la quantité de sucre contenue dans 100 de jus en poids, tandis que par le procédé précédent on a la quantité de sucre

contenu dans 100 de jus en volume. A cet effet, on analyse le jus comme on le ferait d'un sucre ou d'une mélasse, c'est-à-dire qu'on en pèse 16 gr. 29, ou plutôt cinq fois 16,29 ou 81 gr. 45, on les introduit dans une fiole de 100, on défèque au sous-acétate et au tannin, et complète le volume de 100. On filtre et regarde au saccharimètre. Si on a pesé 16,29, le saccharimètre indique directement la quantité de sucre contenue dans 100 de jus. Si on a pesé 81,45, il faudra diviser le nombre observé par 5.

Le premier procédé étant plus court et plus facile, on l'emploiera de préférence, et si l'on veut cependant la quantité de sucre contenue dans un certain poids du liquide, on n'aura qu'à diviser par la densité du jus obtenue par une observation aréodensimétrique. Avant d'aller plus loin, il y a quelques observations à faire, observations rarement prises en considération, mais qu'il est nécessaire que l'on connaisse, dans le cas où l'on désire faire un travail sérieux. Nous voulons parler du volume occupé dans la fiole par le précipité plombique.

Dès 1867, J. Welz avait signalé l'erreur que l'on commet lorsque l'on ne tient pas compte du volume du précipité, erreur qui rend trop fort le résultat obtenu. Welz avait trouvé que le précipité occupe un volume de de 2^{cc},2 dans les conditions précitées ; donc quand à 100 de jus on ajoute 10 de sous-acétate, le volume final, au lieu d'être 110, est de 107,8, donc la correction de 1/10 n'est pas juste ; l'erreur a une limite suivant Welz de 0,3 0/0 ; mais Otto prétend qu'elle ne peut s'élever jusque-là. Maumené, en 1869, crut remarquer qu'il ne s'écoule que 73,5 des 100 centimètres cubes du liquide précipité, et 36,5 sont retenus sur le filtre ; après deux ou trois lavages, le précipité n'occupe plus que 10 à 14 centimètres cubes, d'où Maumené conclut à une erreur de 10 à 14 %, nombre évidemment trop fort.

Le Dr Scheibler a, par un artifice, trouvé la vraie valeur de l'erreur commise. En effet, si un liquide sucré occupait 100 centimètres cubes, formant un précipité de 5 centimètres cubes, le volume final ne serait plus que $100 - 5 = 95$, soit A l'observation saccharimétrique dans ces conditions. Si les 100 centimètres cubes primitifs, contenant leur précipité sont mis dans un deuxième ballon gradué et portés à 200 centimètres cubes, puis filtrés et polarisés, le volume réel du liquide sera $200 - 5 = 195$, marquant B au saccharimètre. Or B ne sera pas la moitié de A, il sera les $95/195$ de A. Si donc on ne connaît pas ce volume de 5 que nous avons supposé, connaissant A et B on en conclurait, comme nous allons le voir :

$$B = \frac{1}{x} A$$

d'où l'on tirerait x , volume du précipité.

Répétant l'expérience sur 100 centimètres cubes de jus additionné de 10 centimètres cubes de sous-acétate, soit un volume de 110 ; puis de ces 110 centimètres cubes de liquide trouble, formant 220 centimètres cubes par addition d'eau, soit P et p les deux lectures au saccharimètre, et x le volume de précipité on a deux équations, D étant la différence entre P et $2p$.

$$D = P - 2p$$

$$p = \frac{110 - x}{220 - x} P$$

d'où l'on tire $x = \frac{220 D}{P + D}$.

Si l'on appelle P' le degré saccharimétrique corrigé, on a

$$\frac{P}{P'} = \frac{100}{100 - \frac{202 D}{P + D}}$$

d'où $P' = P - 2,2 \frac{P \times D}{P + D}$

or, $P + D$ différant en somme fort peu de P , l'équation peut se simplifier ainsi :

$$P' = P - 2,2 D.$$

Le coefficient 2,2 variant d'ailleurs suivant le mode opératoire de chaque chimiste.

D'après ces données, en se servant pour les observations de tubes de 100 et 200, ce qui vaut mieux que de faire la multiplication par 2, le Dr Scheibler a remarqué, après de nombreuses expériences que le volume du précipité plombique est en moyenne de 1^{cc},33, et la différence entre les deux lectures de 0,32. Le Dr Scheibler assigne à ce précipité plombique une densité de 3,129.

En définitive, l'erreur maxima qui ait été observée dans ces expériences est égale à 0,2 %, et l'erreur moyenne de 0,15 %, soit moitié de ce que Welz avait cru remarquer. C'est donc 0,15 % à corriger sur les observations saccharimétriques, ce qui est une erreur presque toujours négligeable.

Pellet, reprenant ces expériences, a trouvé :

0,20	pour les betteraves peu mures ou très riches,
0,15	— — de richesse moyenne,
0,10	— le jus de canne,
0,25	— les masses cuites,
0,25	— le sucre de 2 et 3 jets.
0,77	— les mélasses, en en faisant une solution à 22 0/0,
0,63	— — — — 16,29 0/0.

Avec l'hydrate d'alumine le D^r Scheibler trouve le précipité égal à 0,015 ou 0,0025 % ce qui est tout à fait négligeable.

Enfin nous ferons une remarque intéressante aussi bien pour les analyses des liquides sucrés que pour celle des corps solides dissous. C'est que le précipité plombique est soluble dans le sous-acétate de plomb; on doit donc toujours éviter de mettre un excès de sous-acétate, qui rend louches les liqueurs filtrées.

Lorsque l'on a trouvé le degré Brix d'un jus et son degré saccharimétrique, en faisant la différence des deux nombres on en obtient un troisième qui représente en réalité la quantité de sucre équivalente aux impuretés du jus, en tant que ces dernières sont considérées comme s'ajoutant au sucre réel pour augmenter la densité du jus. Par exemple, si un jus pesait 15° Brix, c'est-à-dire que si ce jus était une solution de sucre pur il contiendrait 15% de sucre, et marquait 12 au saccharimètre, la différence serait 15 — 12 = 3; cette quantité, 3% de sucre, équivaldra à une quantité de matières organiques et salines augmentant de la même façon la densité du jus. De là vint-on à penser que ce nombre 3% représentait la quantité réelle de ces matières étrangères, sels, non-sucre (traduction du *nichtzucker* des Allemands) etc. Et cependant ceci est faux, car ces matières étrangères de nature très diverses peuvent peser beaucoup plus ou beaucoup moins que le sucre, comme nous le verrons à l'analyse de la betterave, tout en produisant le même effet sur la densité du jus. Cependant ce nombre 3 peut servir dans l'évaluation de la richesse du jus. En effet, plus le jus sera pur, plus il contiendra de sucre proportionnellement à sa densité, et plus la quantité de *non-sucre* sera faible, de sorte qu'en prenant le rapport du sucre à ce non-sucre dans le jus, soit $\frac{12}{3}$ on obtiendra un nombre ici égal à 4 qui variera suivant la richesse du jus. Il sera infiniment grand pour une solution de sucre pur, et très petite pour des jus très impurs. La moyenne des bonnes betteraves donne pour ce coefficient une valeur de 8 environ. Au-dessus de 8 ce sont de bonnes racines.

On a imaginé beaucoup d'autres coefficients pour se rendre compte de la richesse des racines. Le rapport du sucre réel au degré Brix étant

entaché de l'erreur due à l'incertitude même de la nature des substances autres que le sucre qui agissent sur l'aréomètre, on a pris pour base nouvelle la matière sèche du jus, matière sèche que le degré Brix représente d'une manière erronée, et on a appelé : *coefficient réel de pureté*, le rapport du sucre au poids de la matière sèche ou $\frac{\text{sucre}}{100 - \text{eau}}$ et *valeur proportionnelle* le produit de la quantité de sucre par ce coefficient, soit : $\frac{\text{sucre}}{100 - \text{eau}} \times \text{sucre}$. Ces valeurs reviennent souvent dans les travaux des chimistes, nous devons en faire mention. Mais il ne faut pas leur attacher plus d'importance qu'elles n'en ont réellement.

§ 2. — Jus après travail.

On remarque d'ailleurs que le rapport du sucre au non-sucre varie dans le cours de la fabrication avec les procédés employés ; c'est ainsi qu'en faisant la même opération sur le jus au fur et à mesure qu'il passe en travail, sa pureté s'augmentant, son coefficient doit s'élever de plus en plus, sinon le travail serait mauvais dans la suite de ces essais. Lorsqu'on opère sur le jus contenant de la chaux, il faut avoir soin de le déchauler d'abord par un courant d'acide carbonique et de filtrer, car la chaux agit non seulement par son poids sur l'aréomètre, mais encore influe sur le degré saccharimétrique. C'est ainsi que Weiler en étudiant le procédé de défécation suivi de la double carbonatation a trouvé que :

Après la défécation on avait éliminé	5,54 %	des mat. étrang. du jus.		
— 1 ^{re} carbonatation	—	24,49	—	—
— 2 ^e —	—	39,18	—	—
— filtration sur 5 % de noir	—	49,64	—	—

Telle est donc l'utilité de l'analyse dans tout le cours de la fabrication, que le chimiste peut ainsi à chaque instant apprécier la valeur du travail de l'usine.

Dans le cas où les jus ont été travaillés et sont devenus plus purs, l'addition de sous-acétate doit être faite avec précaution, car un excès empêcherait la filtration, ou au moins rendrait louches les jus filtrés, comme nous le disions précédemment ; on ne doit donc ajouter d'acétate qu'autant qu'en tombant dans le liquide, il produit un précipité, et cesser lorsque ce précipité ne se forme plus, enfin compléter les 110 centimètres cubes de la fiole par de l'eau. A part cela, l'opération est totalement la même.

Indépendamment du sucre, il est nécessaire de doser la chaux que retiennent les jus. Bien plus, les jus sont alcalins non seulement par la chaux qu'ils peuvent contenir, mais par la potasse et par la soude qui ont été mises en liberté en cours du travail par la chaux qu'on y a ajoutée. Pour doser ces différentes alcalinités, Pellet se sert de la méthode suivante :

- 1° Il dose l'alcalinité totale par la liqueur de Gay-Lussac ;
- 2° Il dose la chaux totale par la liqueur hydrotimétrique ;
- 3° Il précipite la chaux libre dans le jus en additionnant celui-ci de son volume d'alcool, ce qui précipite tout le sucrate de chaux ;
- 4° Il dose sur cette nouvelle liqueur l'alcalinité totale.

Par ce moyen en retranchant du premier essai le résultat du quatrième, on a l'alcalinité de la chaux libre ; le deuxième essai donnant la chaux totale, en retranchant la chaux libre, on a la chaux combinée. Enfin le premier essai diminué du deuxième donne l'alcalinité due à la potasse et à la soude.

§ 3. — Sirops

Les sirops étant le résultat de l'évaporation du jus, ont, à la quantité d'eau près, la même composition que les jus, sauf quelques matières volatiles qui s'échappent en même temps que l'eau d'évaporation à la faveur de la concentration. Pour en reconnaître la richesse saccharine, après l'essai aréométrique on les étend d'eau d'un ou deux volumes, suivant leur degré d'évaporation. A cet effet on prend une certaine quantité de liquide au moyen d'une pipette de 50 centimètres cubes par exemple munie d'une longue effilure, et on fait tomber le sirop au fond d'une éprouvette à pied graduée, sans toucher les parois de l'éprouvette ; puis on double ou triple le volume avec de l'eau distillée. On doit déterminer le volume du sirop non pas d'après celui de la pipette mais d'après la lecture que l'on en fait sur la graduation de l'éprouvette c'est pourquoi aucune goutte du liquide ne doit souiller les parois de cette éprouvette, sinon la lecture donnerait un résultat erroné. Il faut avoir soin pour faire ces lectures, d'ailleurs fort délicates, d'attendre que les bulles d'air qui sont dans le sirop soient remontées à la surface, de ne pas remuer l'éprouvette pour ne pas répandre le sirop sur les parois, de la maintenir bien verticale, et de la choisir étroite autant que possible. Une fois l'eau ajoutée, on remue tout le liquide dans l'éprouvette en appuyant la paume de la main sur l'ouverture de manière à en opérer la dissolution. Remarquons en passant qu'un aréomètre plongé dans ce mélange liquide ne marquera pas exactement la moitié ou le tiers de

son indication dans le sirop normal, à cause des différences de volume qu'éprouve le liquide par cette dissolution. Donc, en aucun cas, on ne devra se servir de ce procédé pour prendre une densité de sirop.

Le reste de l'opération pour le sirop étendu à la densité du jus est le même que pour les jus travaillés.

§ 4. — Liquides divers.

Toutes les eaux de lavage et d'évacuation de la fabrique doivent passer au saccharimètre pour s'assurer s'il n'y reste pas une quantité de sucre suffisante pour que son extraction ou l'emploi du liquide dans certains services devienne rémunérateur. Le dosage du glucose y deviendra généralement impossible soit par sa très faible quantité, soit par la présence de matières étrangères au sucre agissant sur les liqueurs cupriques et autres. De plus l'observation saccharimétrique de ces liquides est parfois bien difficile par le peu de sucre qu'ils contiennent. Il est donc indispensable dans ce cas d'avoir recours à un procédé mauvais par lui-même, car il agit dans le sens de la destruction du sucre, nous voulons parler de l'évaporation, mais dans lequel on peut rendre les chances de destruction très faibles. Pour cela on doit se servir de vases métalliques en cuivre étamé, argent ou platine, à fond plat et large, de manière à ce que le liquide occupe une très faible épaisseur sur une grande surface et que l'évaporation soit rapide. De plus, on fera cette évaporation au bain-marie à la plus basse température possible, *sans ébullition*. Lorsque le volume sera réduit à moitié, au quart, au sixième, le saccharimètre marquera 2, 4, 6 fois plus. On se guidera pour déterminer ce degré d'évaporation sur les circonstances environnantes, couleur, pureté, etc. Enfin il est certains indices auxquels on peut reconnaître les fuites du jus ou sirop sans avoir recours au saccharimètre; tels sont la couleur des eaux de retour, leur odeur et leur goût.

Le palais est souvent, en fabrique, le meilleur analyseur; en tout cas le plus simple et le plus rapide et s'appliquant même à des traces de liquide. On ne doit jamais négliger de l'employer en tous cas, parfois même sur des liquides répugnants en apparence et qui n'offrent d'ailleurs aucun danger à la santé.

Pellet et Giesbers, pour éviter toutes ces opérations longues et parfois infructueuses dans la recherche de traces de sucre dans les eaux de l'usine, ont recherché un procédé chimique capable de déceler le sucre en quelque faible proportion qu'il soit.

Ils se sont servis de la propriété que possède un corps du groupe des phénols, l'*α-naphtol* ($C^{10}H^7OH$), en solution alcoolique à 20 %, de se colo-

rer en rouge en présence de l'acide sulfurique et du sucre, ce dernier étant même en très faible quantité. (Voir aussi page 20).

Ils ont basé sur cette observation une méthode qu'ils ont nommée *chromo-microsaccharimétrie*, avec laquelle ils parviennent même à doser le sucre depuis quelques milligrammes jusqu'à 0,1 à 0,2 de matière sucrée par litre. Ils ont agencé un nécessaire permettant d'avoir sous la main tout ce qu'il faut pour faire rapidement ces analyses.

Le procédé de dosage se fait par comparaison avec des tubes témoins dans lesquels on a enfermé de la liqueur de tournesol étendue à la teinte correspondant à différentes teneurs en sucre traitées par l'*α-naphtol*, les teintes de tournesol et du réactif étant semblables.

Quand on a obtenu ces teintes témoins, on prend un des tubes du nécessaire gradué pour n'avoir aucune mesure autre à faire. On y verse 5 centimètres cubes d'acide sulfurique pur, puis 2 centimètres cubes de la solution à examiner, sans agiter, puis 1/2 centimètre cube de la liqueur *réactif*, et l'on agite rapidement. S'il y a du sucre, on observe une teinte violacée d'autant plus forte qu'il y a plus de sucre. On compare avec les tubes-témoins et d'après la coloration on juge de la quantité de sucre contenue dans la liqueur observée.

CHAPITRE DEUXIÈME

COMPLÈMENT AUX ANALYSES DES LIQUIDES SUCRÉS.

Le jus de betterave se compose de sucre cristallisable, de sels divers, de matières organiques azotées et non azotées, le tout dissous dans l'eau. Le glucose ne semble pas exister quand le jus est fraîchement préparé, l'altération ou fermentation acide peuvent seules lui donner naissance. Ce n'est donc que dans les liquides ayant séjourné et avariés que l'on peut le rencontrer.

Outre le sucre et le glucose on peut avoir besoin de doser dans un liquide l'eau, les sels, les matières organiques, etc.

§ 1. — Eau et matière sèche.

L'eau se dose par une simple évaporation dans une capsule plate d'un volume déterminé du liquide que l'on mélange avec un poids connu de sable fin et sec et que l'on porte à une température de 103° à 110° au plus, et seulement vers la fin. On se sert aussi de pierre ponce, ou même de lanières de papier plissé posées verticalement dans la capsule. Il faut surveiller l'opération, pour que le corps ne brûle pas. L'emploi du vide obtenu par une trompe ou une pompe pneumatique quelconque, peut être d'un utile secours dans ce cas. On a ainsi, en pesant avant et après l'évaporation, l'eau et la matière sèche. Cette matière sèche contient le sucre, déjà dosé, le glucose quand il y en a, dosé aussi, les sels et les matières organiques.

§ 2. — Matières minérales.

La partie minérale constituée par des sels s'obtient comme il suit :

La matière sèche, obtenue dans une capsule de platine, est imbibée d'acide sulfurique pur, puis calcinée au rouge sombre, jusqu'à ce que la masse devienne blanche, sans fusion. Le poids des cendres sulfuriques, diminué de 1/10 pour tenir compte de l'augmentation de poids que l'acide sulfurique communique aux cendres, donne le poids des

sels. Si par exemple on obtient 0,071 de cendres sulfuriques, les cendres réelles seront considérées comme égales à $0,071 - 0,007 = 0,064$. L'incinération pure et simple du jus, outre qu'elle est fort difficile et fort longue ne donne pas un résultat plus exact, chassant le chlore, l'acide nitrique, et même une partie de l'acide sulfurique à l'état d'acide sulfureux, sans qu'il soit possible d'en tenir compte, et les remplaçant par l'acide carbonique provenant de la combustion des matières organiques. Stammer propose un moyen un peu meilleur sans être encore parfait. Il réduit le tout en charbon, ce qui peut se faire à une température assez basse, lave ce charbon à l'eau pour dissoudre une partie des sels, chlorures, sulfates, nitrates, qui n'ont pas été décomposés ainsi; puis il achève la calcination du charbon, et, dans la même capsule où sont déjà les cendres, évapore à siccité le liquide obtenu précédemment de la lévigation. Les pertes sont alors assez faibles.

Nous reviendrons plus tard sur la nature de ces sels.

§ 3. — **Matières organiques.**

Les matières organiques sont de deux sortes, les unes azotées comme l'albumine, les autres non azotées comme l'acide pectique. La presque totalité de ces matières organiques, et surtout les acides, se précipite lorsque l'on ajoute au liquide du sous-acétate de plomb. Le précipité recueilli sur un filtre, lavé, desséché et pesé, puis ensuite calciné avec addition d'un peu de nitrate d'ammoniaque vers la fin de l'opération pour en obtenir le plomb à l'état d'oxyde, que l'on pèse et déduit du poids total du précipité, donnera un nombre contenant les matières azotées et les matières pectiques, ainsi que quelques autres éléments, soit approximativement la totalité. On peut encore décomposer le sel de plomb par l'hydrogène sulfuré et peser les matières organiques (voir Mélasses). Connaissant donc la totalité de ces matières, nous tâcherons d'en séparer quelques-unes par des essais directs.

Parmi ces matières organiques celles qui contiennent de l'azote sont les plus nécessaires à connaître et à doser dans tous les cas. Plusieurs procédés ont été proposés. Mais il est utile de remarquer que l'azote dans le jus peut avoir trois provenances :

Soit qu'il appartienne aux nitrates du jus.
 — — sels ammoniacaux.
 — — substances protéiques.

La séparation de ces trois sources d'azote est fort délicate; on y arrive par l'analyse indirecte de la manière suivante: on fait d'après les procédés ordinaires de l'analyse organique le dosage de la quantité

totale d'azote que contient le jus ; puis on dose séparément les sels ammoniacaux et les substances protéiques et l'on obtient par différence l'azote des nitrates. Nous remarquerons en passant qu'en général les sels ammoniacaux et les nitrates sont relativement en très petite quantité, aussi les néglige-t-on souvent, ce qui fait proposer par Stammer le coefficient 6,25, au moyen duquel en multipliant le poids total de l'azote on obtiendrait celui des matières protéiques. Mais comme les analyses dont nous nous occupons ne se répètent que dans des cas exceptionnels, il est utile de prendre le cas le plus particulier. (Voir aussi Analyse des terres).

§ 4. — Sels ammoniacaux.

Le dosage de l'azote des sels ammoniacaux peut se faire par le procédé Boussingault, en distillant la matière en présence de la magnésie préalablement lavée, et en ayant soin, quand cette matière contient de la chaux libre, de saturer d'abord celle-ci par l'acide sulfurique étendu. Sans cette précaution indiquée par Boussingault pour le dosage de l'ammoniaque dans les terres chaulées, la chaux contenue dans le jus aurait réagi sur les substances azotées fixes, et aurait donné un dégagement d'ammoniaque qui serait venu s'ajouter à celui qui provient des sels ammoniacaux. L'ammoniaque qui distille est recueillie dans une solution titrée d'acide sulfurique dont la richesse en acide libre après l'opération donne par différence le poids de celui qui s'est uni à l'ammoniaque, et, partant, l'ammoniaque et l'azote lui-même.

§ 5. — Matières azotées.

L'analyse des matières azotées protéiques se fait généralement par le tannin.

La composition de la liqueur qui doit être toujours fraîche, une semaine au plus, diffère avec les opérateurs. D'ailleurs il est avantageux d'avoir diverses de ces liqueurs, soit contenant 5 ou 2 ou 1 gramme par litre, de tannin pur et sec. On pourra commencer la précipitation avec la liqueur la plus concentrée et finir avec la dernière. Cependant comme on doit opérer sur des liqueurs étendues, les précipitations s'y faisant mieux que dans les liquides concentrés, l'emploi de la solution au $\frac{1}{1000}$ ou au $\frac{2}{1000}$ n'a pas d'autre inconvénient que d'employer beaucoup de liquide. On se sert pour le titrage d'une burette de Mohr. Les principales conditions à observer dans cette analyse sont les suivantes :

La liqueur à titrer doit être parfaitement neutre, ou au moins pas du tout alcaline. Pour faciliter la précipitation, ajouter au liquide à essayer une certaine quantité d'alun, enfin opérer sur des liqueurs étendues. L'opération se fait commodément dans une capsule de porcelaine légèrement chauffée, dans laquelle on introduit par exemple pour 10 centimètres cubes de jus, 100 centimètres cubes d'eau et 10 centimètres cubes d'une solution d'alun. Pour s'assurer de la fin de l'opération, on essaie un peu du liquide clair avec du chlorure de fer ; si le tannin est en excès, il produira une coloration. Lorsque la perception de la coloration ne sera plus facile directement en prenant une goutte de liquide avec une baguette de verre et la posant sur une assiette ou mieux sur un papier collé et la mélangeant avec une goutte de liqueur de fer, on filtrera quelques gouttes de liquide pour opérer l'essai.

Six parties de tannin précipitent une partie de matière azotée.

Parmi les autres liqueurs proposées, citons la solution de permanganate de potasse à 1 gramme au litre, que l'on verse dans le jus additionné de 10 fois son poids d'eau et d'un peu d'acide sulfurique, et chauffé à 75°. Vers la fin le précipité est floconneux et la liqueur couleur de chair. La méthode présente l'inconvénient d'oxyder un peu de sucre et d'autres substances, ce qui vicie les résultats.

Le nitrate de mercure, obtenu par la dissolution de 1 gramme de mercure dans 1 d'acide nitrique additionné de 4,5 d'eau, permet de reconnaître $\frac{1}{10,000}$ d'albumine par la coloration rouge vif qu'il produit.

Feltz propose la méthode suivante : Il forme deux liqueurs équivalentes volume à volume, l'une plombique, l'autre de ferrocyanure de potassium.

Il précipite les matières azotées par une quantité connue de liqueur plombique, et il dose le plomb restant dans le liquide filtré, au moyen de quelques gouttes de ferrocyanure qui donne un précipité bleu aussitôt que le plomb a été entièrement transformé en prussiate de plomb.

DOSAGE DE L'ASPARAGINE. — Nous avons vu (p. 80) les diverses propriétés optiques de l'asparagine dont le pouvoir rotatoire est gauche et passe à droite sous l'influence des acides.

L'acide acétique en proportions suffisantes détruit le pouvoir rotatoire de l'asparagine, soit en en ajoutant 10 centimètres cubes à 8° pour 100 centimètres cubes de solution ; une quantité moindre serait insuffisante. Donc, dans les essais de jus de betterave la rotation est toujours trop

forte à droite, si l'on n'a pas soin de l'acidifier. Le même phénomène se passe dans les mélasses qui contiennent toujours de l'asparagine.

Pour doser l'asparagine, Champion et Pellet emploient la méthode saccharimétrique. Un jus sucré additionné d'acétate, vu au saccharimètre avant et après addition de 10 % d'acide acétique à 8°, donne une différence de rotation dans laquelle 25 divisions représentent 1^e.36 d'asparagine.

Terminons en donnant, d'après Michaélis, l'analyse des matières azotées d'un jus :

Graisse.	0,735	
Gluten.	1,154	
Légumine.	2,026	
Albumine.	1,358	
Extractif.	3	
Total.	8,273	pour 1000 de jus.

Les matières azotées, estimées par Michaélis à $\frac{10}{1,000}$ au plus, sont portées à plus de 1 % par Peligot, Hochstetter, Payen et autres. Nous pensons que ces différences dans les appréciations proviennent des qualités de la betterave, de la culture et des localités où elles ont été cultivées.

§ 6. — Distinction des sels.

Ainsi que nous venons de le voir, nous connaissons par l'analyse les nitrates et l'ammoniaque des sels. Les autres bases que l'on rencontre sont la potasse, la soude, la chaux, la magnésie. Les autres acides sont l'acide sulfurique, carbonique, chlorhydrique ou le chlore et l'acide phosphorique.

Le dosage de ces matières se fait, par les procédés ordinaires de l'analyse chimique, sur l'eau de lavage du charbon de la matière sèche comme nous l'avons dit plus haut. Nous donnons ici quelques analyses de jus pour servir de guide dans ces recherches.

Jus de betterave

Sucre	12,413
Sels de potasse et de soude	0,458
— chaux et magnésie	0,184
Substances protéiques.	1,418
— non azotées	1,048
Eau	84,479
	<hr/>
	100,000

Les sels peuvent se répartir ainsi, suivant certains auteurs :

Chlorure de potassium	25
Carbonate de potasse	45
Phosphate de potasse	10
Sulfate de potasse	5
Carbonate de soude	15
	<hr/>
	100

D'autres préfèrent le groupement suivant :

Sulfate de potasse	50,9
Chlorure de potassium	36,4
Nitrate de potasse	12,0
Phosphate de soude	0,7
	<hr/>
	100

C'est qu'en effet, s'il est possible de doser séparément les bases et les acides, il est bien difficile d'assigner dans quelles combinaisons tous ces éléments sont unis ; on ne peut donc faire que des suppositions et des à-peu-près dans ce sens, d'où nous pensons qu'il vaut mieux, dans pareil cas, avouer les quantités de bases et les quantités d'acides sans faire aucune supposition sur leurs combinaisons, rien ne prouvant que tout le chlore, par exemple, soit uni à la potasse, pouvant l'être également à la soude ou à la chaux sans qu'aucune théorie ni aucun fait ne vienne à l'encontre.

Les substances salines les plus nécessaires à connaître sont : les alcalis, potasse, soude, chaux et ammoniaque, et les acides nitrique et sulfurique.

L'alcalinité d'un jus provenant de la potasse et de la soude mises en liberté pendant le travail, et de la chaux en excès, on cherchera d'abord le degré alcalimétrique du jus au moyen d'une liqueur titrée au 1/1000 formée avec de l'acide nitrique, suivant le procédé alcalimétrique ordinaire. Puis on titrera la chaux.

Ici se présente une difficulté : la chaux est à deux états, soit libre, c'est-à-dire unie au sucre de la liqueur, soit combinée à des acides qui la tiennent en dissolution. Si l'on cherche la chaux totale du jus, on la précipitera par l'acide oxalique ou un oxalate alcalin qui permettra de la recueillir à l'état d'oxalate, de la calciner et de la peser à l'état de carbonate de chaux. La chaux libre est plus difficile à obtenir ; on peut se servir à cet effet d'une solution d'acide phosphorique trihydraté (acide vitreux) recommandée par Basset, qui ne déplace la chaux d'aucune de ses combinaisons autres que celle du sucrate, et donne un précipité floconneux qui se détache très bien. On emploie une liqueur marquant 1°B, soit une

densité de 1,006. Enfin si l'on opérât sur un liquide ne contenant pas d'autres alcalis libres que la chaux, on pourrait employer une liqueur titrée de 45 grammes d'acide oxalique cristallisé, dissous dans l'eau et formant un volume de 1 litre; 1 centimètre cube de cette liqueur correspond à 0,02 de chaux; on peut alors doser d'un seul coup l'alcali libre et l'alcali combiné. En effet, en versant la liqueur titrée jusqu'à ce que le jus coloré par la teinture de tournesol vire au rouge, on obtient l'alcali libre; en continuant la précipitation jusqu'à cessation, on obtiendra dans cette seconde opération la chaux combinée. Mais ce mode de dosage est délicat, car l'oxalate de chaux rend la liqueur trop peu translucide dans certains cas pour percevoir distinctement la cessation de la précipitation.

Pour doser les sulfates alcalins F. Jean a imaginé un procédé fort élégant que voici :

1° A une solution de sulfate de potasse ou de soude, si on ajoute de la baryte, il se forme du sulfate de baryte et de la potasse ou de la soude libre.

2° Si dans cette liqueur trouble on fait passer un courant d'acide carbonique, l'excès de baryte se précipite, et il se forme du carbonate de potasse ou de soude.

3° Enfin, dans une pareille liqueur un dosage alcalimétrique déterminera la quantité de carbonate, d'où l'on déduira la quantité de sulfate alcalin.

La liqueur barytique employée par F. Jean est la suivante : on dissout 25 grammes de baryte pure et exempte d'alcali par litre, ou 54,3 de baryte cristallisée ($BaO, 10H_2O$). On pèse 5 grammes du salin qu'on dissout dans l'eau en faisant un volume de 100 centimètres cubes (ou 25 dans 500), on colore par quelques gouttes de tournesol, on fait bouillir et on sature à neutralité par l'acide chlorhydrique pur étendu. On ajoute alors 50 centimètres cubes de cette eau de baryte, on fait bouillir et on précipite l'excès de baryte par l'acide carbonique (qui peut être produit en versant dans la liqueur 60 à 80 centimètres cubes d'eau de seltz), on maintient l'ébullition pour décomposer le bicarbonate. On transvase le tout à froid dans un flacon jaugé de 500, dont on prend 200 centimètres cubes que l'on titre par la liqueur sulfurique.

Si l'on veut doser l'acide sulfurique total d'un salin, il faut au préalable, suivant Pellet, faire bouillir la solution de 5 grammes du salin avec du carbonate de soude, pour transformer le sulfate de chaux et de magnésie en carbonate de chaux et sulfate de soude.

CHAPITRE TROISIÈME

ANALYSES DES BETTERAVES, PULPES ET COSSETTES, ÉCUMES, RÉSIDUS, ETC.

L'analyse de toutes les matières contenant du sucre se résume à ceci : Extraire sous forme liquide tout le sucre que contiennent ces matières, et analyser le jus résultant, et au besoin les résidus. C'est ce que nous allons expliquer pour toutes les matières précitées.

§ 1. — Betteraves.

Le mode d'analyse des betteraves le plus ordinaire, celui qui est journellement employé pour la fabrication, consiste simplement à en extraire le jus par pression après râpage d'une tranche prise du collet à la racine. L'analyse de ce jus donne la valeur intrinsèque de la racine en fabrication, sans tenir compte du rendement total. Cette appréciation suffit dans ce cas. Si l'on a un lot de betteraves, on prend plusieurs betteraves moyennes du lot, en ayant soin cependant qu'elles n'aient pas passé trop longtemps à l'air, car, d'après ce que nous savons du dessèchement des racines, on n'aurait pas des indications exactes ; on les coupe du haut en bas en quatre tranches, on prend une des tranches sur chaque racine, on râpe entièrement les morceaux dont on mélange la pulpe, on presse, et le jus donne la moyenne de la valeur du lot. Dans tous les cas, il faut avoir soin de râper les racines en pulpe assez grossière et non en bouillie, car, dans ce dernier cas, le jus pressé contient beaucoup de matières extractives qui augmentent la densité apparente du jus et diminuent son rendement par l'abondance des matières protéiques qu'elles introduisent en dissolution. Le râpage se fait soit sur une râpe dans le genre des râpes à fromage à la main, soit au moyen d'une petite râpe rotative à sabot rappelant celle des fabriques ; enfin, Possoz d'une part et Champonnois d'une autre ont imaginé de petits appareils (fig. 192) appelés sondes-râpes ou forets-râpes ; composés d'une mèche mue d'un mouvement assez rapide de rotation devant laquelle on présente les betteraves à analyser ; la mèche réduit en pulpe une portion de la betterave que l'on recueille et presse avec rapidité. Le trou doit être pratiqué au quart

environ de la longueur de la racine, compté à partir du collet. C'est à ce point qu'elle présente sa composition moyenne. La pression se fait généralement à la main dans un carré d'étoffe ou un sac, ou avec une presse à main à vis, rarement avec un instrument puissant. L'essai avec les instruments à mèche est rapide et concluant, mais aujourd'hui que l'achat à la densité est à l'ordre du jour, une analyse faite dans de pareilles conditions pourrait ne pas sembler suffisante aux cultivateurs inexpérimentés, à cause de la petite dimension de la prise d'essai.

Pour éviter la manipulation de couper les racines en quatre et râper ces quarts qui sont difficiles quelquefois à présenter à la râpe, Pellet a imaginé une râpe (fig. 193) dont le cylindre dévrateur a la forme d'une lentille tournante, comme une meule verticale sur son axe. Cette lentille, garnie de dents de scie, présente, en section, la forme d'une tranche de betterave, en sorte que si on lui présente une betterave tout entière maintenue à une hauteur suffisante par des guides, on ne râpera de cette betterave, qu'une tranche sur toute la longueur. On simplifie donc les manipulations au moyen de cet instrument qui est appelé à rendre des

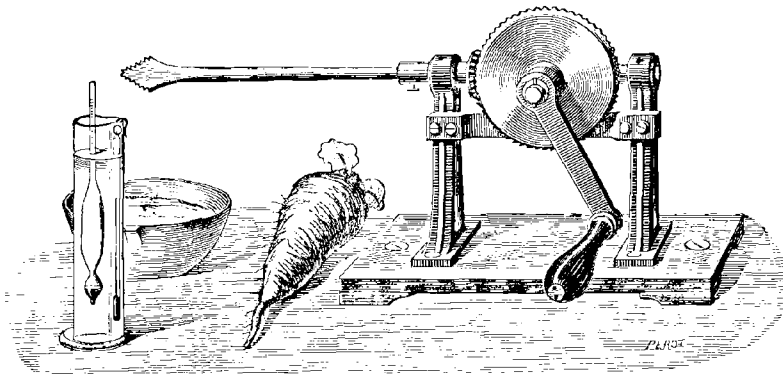


Fig. 192.

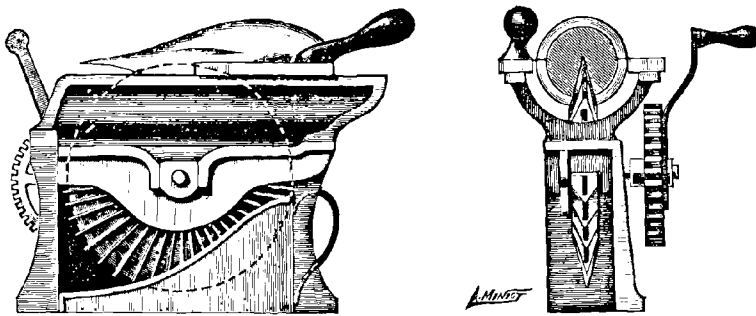
services. La râpure y est reçue dans un seau de forme spéciale, elle est mise dans une toile et pressée sous une petite presse puissante attendant au même bâti.

On reproche à ces procédés de section de la betterave sur la longueur, de ne pas donner une moyenne vraie de leur composition, parce que dans ces racines le côté tourné vers le nord est moins riche que celui qui regarde le midi. Le fait serait grave, en effet, si l'on ne râpait qu'une betterave ; mais si on en râpe quinze ou vingt, on a beaucoup de chance pour prendre *des échantillons* dans toutes les directions possibles, sur la direction nord-sud. Cependant, il semble qu'il serait plus normal de

faire différemment l'échantillonnage. Il a été reconnu, en effet, par maint expérimentateur, et même il a été démontré mathématiquement par Violette, que la tranche horizontale qui représente la moyenne de la richesse de la racine est celle qui est placée au quart supérieur de l'axe. C'est dans cette tranche, en effet, que nous avons vu que l'on prend l'échantillon au moyen des sondes-râpes.

Parfois, pour analyser les betteraves, on détache une rondelle de cette place, que l'on râpe tout entière ; ou bien, plus simplement, pourquoi ne décapiterait-on pas chaque betterave au premier quart de sa hauteur, et ne râperait-on pas sur une petite râpe rotative ordinaire une portion de la racine en ce point de richesse moyenne ?

On s'est demandé si le jus que l'on extrait en premier lieu est plus ou moins riche que celui qui coule sous une plus forte pression. La richesse saccharine est à peu près la même ; mais on n'en peut pas dire autant de la qualité ou pureté des derniers, qui contiennent plus de matières extractives, pectose, matières albuminoïdes, etc. Lorsque l'on fait l'essai de la richesse du jus avec un densimètre ou aréomètre, on remarque que généralement le liquide offre un degré plus faible à la fin



F.g. 193

qu'au commencement : cela tient à ce que la forte pression finale à laquelle est soumis le liquide provoque une élévation de température, en sorte que le densimètre enfonce moins dans le dernier que dans le premier jus, et puis ensuite, le dernier jus contient des quantités de bulles d'air que l'on doit bien laisser remonter avant d'observer l'indication aréométrique, sous peine d'être trompé dans son observation.

Dès l'instant que les dernières quantités de jus n'ont pas la même composition que les premières, l'analyse des jus obtenus par la presse ne donne pas d'indication absolument exacte. Il semble donc qu'on ait intérêt à ne pas presser trop fort pour ne pas faire sortir les matières

extractives qui ne proviennent que de la rupture du tissu non sucré de la racine.

On voit de plus que cette analyse ne donne que le sucre contenu dans le jus, mais n'indique pas combien de sucre contient la betterave essayée. Pour le savoir, il faudrait pouvoir mesurer la quantité de jus contenue dans la racine.

On admet généralement que la betterave contient 95 % de jus. Si le fait était toujours vrai, on n'aurait qu'à multiplier le sucre trouvé dans le jus par 0,95 pour savoir combien de sucre on entre dans l'usine avec 100 de betteraves. Mais si ce chiffre n'est pas toujours exact, on peut faire de graves erreurs d'appréciation, et supposer des bénéfices ou des pertes de fabrication qui n'existent pas.

Il est donc de première importance de savoir combien les betteraves contiennent de jus.

Autrefois on employait le procédé suivant pour s'en rendre compte :

On coupe une betterave en deux. L'une des moitiés sert à déterminer, par dessiccation, après découpage en tranches minces, la quantité d'eau contenue dans la betterave. L'autre moitié est râpée, et on exprime le jus qu'on filtre sur une toile fine pour le débarrasser de toutes les particules solides entraînées. On prend une petite portion de ce jus pour en déterminer très exactement l'humidité par dessiccation, après mélange de sable fin, comme nous l'avons dit plus haut. Dans ce but, on pèse et évapore, dans une petite capsule, 10 à 20 grammes de jus ;

Soit E la proportion d'eau trouvée dans 100 de jus,

— e	—	—	—	100 de betterave,
— j	—	de jus	calculé dans 100	—

on pose l'équation $j = \frac{e}{E} 100$.

qui donne le résultat demandé.

Jicinsky a fait à cette méthode diverses objections, ayant trait à la nature différente de l'eau contenue dans les cellules, et aux gaz qui se dégagent pendant la dessiccation, en sorte que les résultats obtenus sont trop élevés. On opère, dès lors, de la manière suivante : on recherche la quantité de sucre contenue dans le jus et celle contenue dans la betterave, et le rapport multiplié par 100 des quantités de sucre trouvées donne la quantité de jus pour cent de betteraves. Le poids de sucre contenu dans la betterave est obtenu en pesant une certaine quantité de betterave, que l'on râpe et épuise par macération à l'eau bouillante. Le liquide est vu au saccharimètre, et comme il contient tout le

sucré de la betterave, on en conclut la richesse de celle-ci (Voir plus loin, § 2). Quant au jus, il est passé au saccharimètre comme du jus ordinaire.

Soit P la proportion de sucre trouvée dans 100 de jus,

— p — — — 100 de betterave,
— j — de jus calculée :

$$j = \frac{p}{P} 100.$$

Cette méthode semble, en effet, plus exacte et peut-être plus rapide, mais la macération doit être effectuée avec grand soin.

Par tout ce que nous venons de dire on voit combien il est difficile par les méthodes dites *indirectes* de savoir exactement la quantité de sucre contenue dans la betterave, ce qui a conduit à la méthode *directe* ci-dessus, par épuisement de la betterave râpée.

Cette méthode dans l'enfance en 1882 a été perfectionnée depuis, et sert maintenant exclusivement sous le nom de son vulgarisateur, *méthode Pellet*, lorsqu'il s'agit de faire des essais sérieux d'usine ou de sélection. Nous en avons déjà parlé d'ailleurs au chapitre de la sélection des betteraves-mères.

Dosage du sucre par les méthodes de digestion alcoolique et aqueuse.

— Si l'on fait digérer dans de l'eau chaude de la râpure grossière de betterave, il est difficile d'obtenir deux fois de suite le même résultat en analysant le liquide que l'on en obtient. Si l'on chauffe longtemps pour extraire tout le sucre, on risque d'en intervertir une partie.

Stammer proposa alors un procédé reposant sur l'extraction immédiate du sucre par simple agitation avec l'alcool à froid de la pulpe très fine. Il construisit une râpe qui *limait* la betterave en une pulpe tellement fine qu'au doigter on ne sentait absolument aucune matière dure. La pulpe ainsi obtenue était mélangée avec de l'alcool à 85 %, agitée, déféquée avec 2 1/2 centimètres cubes d'acétate de plomb pour 50 grammes de pulpe, enfin jetée sur un filtre.

La pulpe ainsi travaillée ne contenait absolument plus de sucre, tout restait dans l'alcool. Malheureusement la râpe ne débitait pas et le procédé était par lui-même délicat à cause des évaporations.

D'autre part Scheibler avait proposé de faire l'épuisement du sucre de la râpure de betterave avec de l'alcool à chaud dans un appareil de déplacement. L'idée était d'ailleurs de Riffard qui opérait dans l'appareil Payen. Scheibler n'a fait que modifier ce procédé. Mais après cela parut l'*appareil Soxhlet* beaucoup plus pratique et qui se répandit rapidement.

L'alcool a cet avantage, contrôlé par de nombreuses expériences, que à 60 % et même à 85 % il dissout tout le sucre de la pulpe, et que l'ébullition soutenue pendant plusieurs heures n'invertit pas le sucre.

L'appareil Soxhlet (fig. 194) se compose d'un ballon E de 100 centimètres cubes, sur lequel on place le digesteur A au moyen d'un bouchon percé d'un trou. Ce digesteur est un tube d'assez grand diamètre terminé par une partie effilée pénétrant dans le bouchon du ballon. Sur le côté du

digesteur et extérieurement sont soudés deux tubes, l'un D partant du bas, remonte jusqu'à mi-hauteur et redescend en forme de siphon pour se souder sur la partie effilée au-dessus du bouchon. L'autre C est soudé au-dessus de la moitié du digesteur et son autre extrémité soudée également sur la partie effilée, un peu au-dessus de la soudure du siphon.

Enfin le digesteur est fermé par un bouchon percé et surmonté d'un tube de réfrigération I ascendant entouré d'eau.

Pour se servir de l'appareil on pèse le poids normal de pulpe fine de betterave, obtenue avec une bonne râpe, on l'introduit proprement dans le digesteur sur un tampon d'amiante, on ajoute le petit ballon au-dessous, et sur la pulpe on verse de l'alcool à 80 % environ. L'alcool pénètre la pulpe puis vient la surnager. Mais pendant ce temps le petit siphon latéral s'amorce et de l'alcool tombe dans le petit ballon. On verse de l'alcool jusqu'à ce qui coule du digesteur emplisse la moitié du petit ballon. Alors on ajuste le réfrigérant sur le digesteur, et l'on met le petit ballon sur un bain de sable et l'on chauffe.

L'alcool entre en ébullition, passe par la partie effilée du digesteur et par le tube latéral, et vient se condenser dans le réfrigérant. Cet alcool condensé retombe sur la pulpe, chassant devant lui l'alcool qui la mouille déjà et qui retombe par le siphon dans le petit ballon. Il en résulte un mouvement continu de l'alcool chaud qui épuise, en passant, tout le sucre contenu dans la pulpe. Au bout d'une heure et demie en-

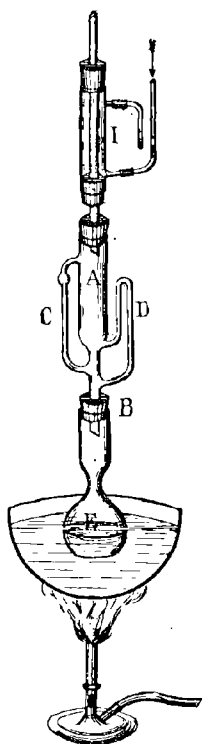


Fig. 194.

viron la pulpe ne contient plus de sucre et celui-ci est entièrement dans le petit ballon. Il est bon, après l'opération, de s'assurer que la pulpe est bien épuisée, sinon on doit recommencer l'expérience.

Le petit ballon porte un trait de jauge marquant la capacité de 100 centimètres cubes. Quand l'expérience est terminée, on le détache du digesteur, on le refroidit, on défèque avec 2 ou 3 centimètres cubes de sous-acétate de plomb, on affleure, on filtre et l'on polarise.

On obtient ainsi le sucre réel contenu dans la betterave mise en essai, ou au moins toutes les matières polarisantes solubles dans l'alcool.

Les analyses par le procédé Soxhlet sont courantes surtout dans les laboratoires d'Allemagne, d'Autriche et de Russie, pour déterminer chaque jour au moins la teneur en jus de la betterave.

En effet si l'on se rapporte à la formule de Jicinsky, on voit que cette méthode donne la quantité p de sucre contenue dans la betterave. L'analyse par pression donne P de sucre dans le jus, et l'on a :

$$j = \frac{p}{P} \cdot 100$$

j étant la quantité de jus que contient la betterave, si toutefois P est exact, ce qui n'est pas tout à fait vrai. Mais on se contente généralement de cette indication qui est comparable pour toutes les séries d'analyse de l'usine. Nous reviendrons sur ce point tout à l'heure.

Degener a simplifié ce procédé et a obtenu des résultats tout aussi bons. *Le procédé Degener* consiste à introduire la pulpe pesée, soit deux fois le poids normal, dans un ballon gradué à 201,2 centimètres cubes, remplir le ballon d'alcool à 90, le surmonter d'un réfrigérant à rétrogradation, et le mettre au bain-marie de manière à ce qu'il boue doucement pendant une demi-heure. Au bout de ce temps la pulpe est complètement épuisée. On retire du bain-marie, on refroidit, on défèque avec 1 centimètre cube de sous-acétate de plomb, on complète les 201,2 centimètres cubes avec de l'alcool, et l'on polarise. On voit que l'opération se trouve de la sorte singulièrement simplifiée, et écourtée. Le volume de 201,2 centimètres cubes a été déterminé par Rapp, le marc occupant dans le ballon un volume de 1,2 centimètre cube.

Mais les procédés alcooliques ont des inconvénients. La filtration doit être faite rapidement, en vases couverts, et bien froide pour éviter les évaporations qui changeraient le degré polarimétrique. L'examen polarimétrique lui-même est méticuleux; car rien que l'apposition de la main sur le tube, réchauffant le liquide, en change la densité et forme des stries qui empêchent complètement l'observation. Les liquides louches ne se voient pas facilement en solution alcoolique; il faut donc qu'ils

soient bien limpides, et du premier coup, car on ne peut refiltrer sans craindre les évaporations. Enfin l'alcool coûte cher, et même si on le rectifie sans cesse après usage on en perd beaucoup, et cela prend du temps.

Trouver une méthode courante et facile de digestion aqueuse s'imposait donc.

Vivien, Barbet, Champion et Pellet ont tour à tour créé des méthodes de digestion aqueuse à chaud ou à froid. Nous ne les décrivons pas, car de toutes il n'en est plus resté qu'une seule, absolument pratique et rapide, qui a fait mettre toutes les autres de côté pour se substituer à elles. Nous voulons parler de la *Méthode de digestion aqueuse instantanée et à froid de Pellet*.

Le principe de la méthode est celui-ci. On pèse le poids normal, soit 16,29 grammes de pulpe de betterave râpée en bouillie fine. On les introduit dans un ballon jaugé à 200,85 centimètres cubes et contenant déjà 5 centimètres cubes d'acétate de plomb. On ajoute quelques gouttes d'acide acétique, on émousse, affleure au trait, agite vigoureusement, et l'on filtre. Le jus coule clair, et il ne reste plus qu'à le polariser dans le tube de 400. L'analyse est donc plus rapide que celle même d'un sucre qui demande le temps de se dissoudre. Si l'on n'a pas de ballon de 200,85 qui tient compte, pour 0,85, du volume du marc et du précipité plombique, on pèse 16,22 de pulpe que l'on met dans un ballon de 200 en opérant comme précédemment.

Pour mettre en œuvre ce procédé, il faut d'abord avoir une râpe qui donne la pulpe en bouillie fine, telle qu'elle puisse être digérée instantanément à froid. Pellet a trouvé qu'une betterave râpée avec une lime à bois, dont chacun connaît la denture relevée grossièrement dans la masse de l'acier, lui donnait une pulpe suffisamment fine pour répondre à l'objet désiré. Le constructeur Keil, qui fit les premiers appareils, bénéficia de voir son nom adjoint à cette denture. Nous avons décrit antérieurement la râpe à disque de Pellet. Celui-ci fit faire des disques en acier à taille Keil, et grâce à cette râpe qui débite beaucoup, on peut faire rapidement la quantité de pulpe nécessaire pour un grand nombre d'analyses et rapidement. Nous avons décrit également l'appareil Hanriot dont le foret est taillé avec la denture Keil pour le même objet. Enfin le foret-sonde lui-même a reçu la même taille.

Nous avons omis dans cette nomenclature de mentionner la râpe de Baudry et Gouthière qui est destinée surtout à réduire en pulpe convenable les petits cylindres de betterave enlevés à la sonde et coupés à longueur déterminée telle que ces cylindres aient un poids constant comme nous l'avons expliqué page 169. Baudry et Gouthière ont créé tout

un matériel pour faire les analyses de sélection, une sonde animée d'un léger mouvement de rotation pour éviter la cassure de la racine, un appareil pour couper les petits cylindres à longueur exacte, et dont le principe est l'introduction du cylindre dans un tube en cuivre de longueur réglable et absolument calibrée, qu'arasant à chaque extrémité deux couteaux bien parallèles, enfin une râpe qui se lave parfaitement en marche et permet de faire un nombre indéfini d'analyses sans avoir besoin de nettoyages intermédiaires.

L'organe essentiel de ce dernier appareil est une fraise tournant avec une vitesse de 1.200 tours dans un boisseau dont elle est excessivement rapprochée. Un poussoir à pédale force le petit cylindre à s'engager sous la fraise et à être complètement râpé. Enfin, un réservoir contenant une quantité d'eau constante, eau qui est chassée par un piston chargé d'un poids, permet d'introduire de l'eau sur la fraise pendant le râpage et de laver complètement la fraise de toute trace de pulpe qui pourrait rester entre elle et la chape.

La râpe Baudry et Gouthière est un instrument très bien étudié et tout à fait industriel. Au laboratoire de sélection de Stépanoska on faisait 10.000 analyses en douze heures avec trois de ces râpes, deux coupe-cylindres, une sonde, deux saccharimètres et un personnel de 36 à 38 ouvriers y compris les manœuvres transportant les betteraves des silos au laboratoire.

Pour le volume du marc de betteraves et du précipité plombique, Pellet a repris les expériences de Rapp qui avait trouvé 1,3 centimètre cube pour 52,1 grammes de râpure.

Il a trouvé à ce marc, comme Tollens, une densité de 1,6, et pour son volume un chiffre un peu plus fort que Rapp, soit 1,5 centimètre cube; de sorte qu'il a adopté les chiffres suivants pour le volume occupé par le marc :

100 grammes de pulpe	3,0 cc.
16,29 — —	0,5
13,024 — —	0,4 (saccharimètre allemand),

Ces chiffres sont forcés pour n'avoir pas de décimales, mais comme on n'y tient pas compte du plomb, on doit les considérer comme suffisamment exacts. Ils servent à déterminer le volume des ballons. Néanmoins Pellet a adopté pour les ballons gradués les dimensions suivantes :

	Pour 26 ^{gr} ,048	pour 16 ^{gr} ,29
Digestion aqueuse à chaud ou à froid . .	201,35	200,84
— alcoolique	200,90	200,56
Extraction alcoolique	200,20	200,12

Ces dimensions tiennent compte du marc et du précipité plombique complet.

En possession des instruments, voici comment on opère.

Étant donné que l'on possède un échantillon moyen bien fait du lot de betterave que l'on veut analyser, on passe chacune des betteraves sur la râpe à disque, et l'on reçoit la bouillie dans une terrine dans laquelle on fait avec beaucoup de soin le mélange de toutes ces râpures avec une spatule en bois.

Quand le mélange est bien homogène on en prélève le poids de 16,29 que l'on pèse dans une petite main en maillechort, en cuivre ou en tout autre métal, bien propre et bien tarée. On place sur la fiole un entonnoir en métal à douille aussi large que possible et assez grand pour recevoir toute la pulpe pesée. On lave la main, on fait écouler la râpure dans la fiole avec un peu d'eau, tout en lavant bien l'entonnoir. Faire bien attention d'avoir mis préalablement dans la fiole les 5 centimètres cubes de sous-acétate de plomb à 30° Baumé.

On agite pour mélanger intimement l'acétate et la pulpe. On ajoute quelques gouttes d'acide acétique pour neutraliser l'excès d'alcalinité. On abat la mousse avec l'éther, ou un mélange d'alcool et d'éther. Enfin on affleure, on remue énergiquement et l'on jette le tout rapidement sur un filtre.

L'acide acétique a non seulement pour effet de neutraliser l'alcalinité, mais encore d'annuler l'influence du pouvoir rotatoire de l'asparagine.

Lorsque l'on n'a pas la râpe à denture Keil, on ne peut faire la digestion à froid. Il faut la faire à chaud.

La digestion aqueuse à chaud de Pellet se fait exactement de la même manière et avec les mêmes précautions et les mêmes appareils. La pulpe obtenue avec une bonne râpe ordinaire est pesée, mise dans une fiole de 200,85 contenant au préalable l'acétate de plomb, et emplie d'eau jusqu'à la naissance du col, laissant assez de vide pour faire ultérieurement l'affleurement.

A cet état on met la fiole dans un bain-marie à 80° (Pellet a construit un bain-marie spécial pour cela), on l'y laisse une demi-heure environ, puis on laisse refroidir dans un courant d'eau froide, on abat la mousse, ajoute quelques gouttes d'acide acétique, on affleure et l'on filtre, et polarise dans le tube de 400.

Cette méthode donne les mêmes résultats que l'autre, mais est beaucoup plus longue.

Quantité de jus contenue dans la betterave. — Grâce à ces méthodes plus exactes, on peut déterminer facilement la quantité de jus contenue

dans la betterave. A cet effet on pèse un certain poids de râpüre faite à la taille Keil. On la presse d'abord pour en faire sortir le plus possible de jus, sans perte de pulpe, puis on la place dans un entonnoir sur un filtre taré. On lave ensuite à l'eau froide, puis chaude jusqu'à ce que le liquide filtré ne contienne plus rien en solution. On dessèche à l'étuve et l'on pèse. La différence avec le poids primitif donne la quantité de jus que contenait la betterave.

Il est préférable, comme le propose Lippmann, de faire le lavage à l'eau tiède d'abord, et de terminer avec un mélange d'alcool et d'éther. Mais il faut opérer en vase clos, ou mettre la pulpe dans une petite corbeille métallique que l'on introduit dans une éprouvette où se font toutes les manipulations.

Pellet, d'après ses expériences et celles de Maercker a établi le tableau suivant de teneur en jus de la betterave d'après sa richesse.

Une betterave à	10 % de sucre contient	96 % de jus.
—	11	95 —
—	12	94 —
—	13	93 —
—	14	92 —
—	15	91 —
—	16	90 —
—	17	89 —

Ce tableau sans être très exact peut servir de guide aux chimistes, mais il ne doit pas empêcher ceux-ci de faire leurs déterminations au laboratoire, car cette règle comporte de nombreuses exceptions.

§ 2. — Cossettes de diffusion.

Les résidus de la betterave travaillée en fabrique, c'est-à-dire les cossettes de la diffusion, méritent toute l'attention du fabricant. Leur teneur en sucre, qui est pour lui un cas de perte sans compensation, la quantité d'eau qu'ils contiennent, qui ne doit pas être trop considérable pour être consommable par les bestiaux, sont autant de points qu'il a intérêt à connaître continuellement, ainsi que leur teneur en matière nutritive.

L'*humidité* se dose dans les résidus comme dans la betterave même par une simple dessiccation.

Tous les résidus pulpes et cossettes se traitent de la même manière pour en doser le *sucre*. On prend de chacune un échantillon représentant bien la moyenne du lot que l'on veut analyser, soit 200 grammes ou plus. On les place dans une capsule ou casserole étamée, et on verse

deux fois leur poids d'eau bouillante ; on opère bien le mélange en agitant, et on couvre de manière à recueillir la vapeur condensée. On laisse macérer dix minutes environ, puis on sépare le jus par décantation et forte pression. Ce jus refroidi est traité par le sous-acétate de plomb très étendu, de manière à augmenter de 1/10 le volume, sans dépasser la limite de précipitation par le sel de plomb, sinon la liqueur ne filtrerait pas. Quelques gouttes de tannin, pour compléter le volume, aident à la défécation et à la filtration. Ce liquide est ensuite porté à l'observation saccharimétrique. Sachant exactement la quantité d'eau et de résidu employés, une simple proportion donnera de suite la teneur en sucre. Dans le cas où l'indication saccharimétrique serait trop faible et par là incertaine, on aurait quelque avantage à évaporer le liquide à moitié de son volume, dans un vase large et plat, au bain-marie, à la température la plus basse possible. Mais il faut, autant que possible, éviter cette méthode, qui peut causer des erreurs par inversion de sucre. On la remplace avec avantage en employant des tubes de saccharimètre de longueur double. Ce procédé qui est ancien donne de bons résultats. Mais il est préférable d'employer la méthode Pellet à chaud. A cet effet on prélève un échantillon moyen de la cossette, on la passe au hache-viande qui la met dans un état suffisant de division pour que la digestion dans l'eau se fasse bien, et on opère comme nous l'avons expliqué précédemment.

Un moyen indirect de dosage serait d'intervertir le sucre et d'employer la liqueur cuprique. A cet effet, on pèse 50 ou 100 grammes de matière, on les recouvre d'eau et les met à digérer au bain-marie pendant deux heures, ce qui assure une solution plus complète du sucre. On laisse refroidir. Le poids du mélange indique la quantité d'eau employée. On presse pour obtenir le jus, 100 centimètres cubes de ce jus, additionnés de 10 centimètres cubes d'acétate et d'eau sont filtrés, et on prélève sur le liquide limpide 50 centimètres cubes, que l'on acidule avec de l'acide sulfurique étendu ; on voit d'abord le plomb se précipiter ; on ajoute un excès de quelques gouttes d'acide et l'on chauffe une heure au bain-marie. La liqueur intervertie, diluée à 100, est filtrée, et on prélève 50 centimètres cubes de cette solution, que l'on neutralise par du carbonate de soude, et c'est sur ce liquide que l'on fait l'essai à la liqueur de Fehling. Si ces 50 centimètres cubes employés correspondent, par exemple, à 22,73 de liqueur primitive, le nombre de degrés de la burette versés dans la liqueur devra donc se rapporter à ce nombre de centimètres cubes de liqueur sucrée.

On peut aussi passer au hache-viande les cossettes, faire la macération comme dans la méthode Pellet, et faire ensuite l'inversion.

§ 3.—Écumes de carbonatation.

Les écumes de carbonatation se composent de carbonate de chaux, de chaux, de matières organiques précipitées et de traces de sucre, le tout humecté d'eau. Les écumes, à cause même de cette composition, s'altèrent avec la plus grande rapidité. Leur analyse doit donc se faire très vivement aussi.

L'humidité s'en calculera par dessiccation dans l'air privé de gaz carbonique.

La chaux carbonatée et les matières organiques précipitées réunies, s'obtiendront comme suit. On pèsera 10 grammes d'écume, par exemple. On les délaiera dans un volume quelconque d'eau sucrée, qui dissoudra la chaux libre; on filtrera et lavera, et obtiendra, après dessiccation, le poids de carbonate de chaux et de matière organique correspondant à ces 10 grammes. La chaux libre sera dosée dans le sucrate filtré (p. 963.)

En calcinant ce résidu, on obtiendra le poids de la chaux carbonatée et celui des matières organiques par différence. En même temps que la chaux, la pesée donnera certains sels fixes, tels que les sulfates, des corps insolubles, cailloux, etc.

Le poids du sucre est plus difficile à obtenir. Si l'on prend un poids déterminé d'écumes, qu'on le malaxe bien uniformément avec de l'eau de manière à en faire une bouillie claire, que l'on y fasse passer un courant de gaz carbonique, et enfin que l'on porte à l'ébullition pour chasser l'excès de gaz et que l'on filtre, le liquide filtré ne contiendra plus que du sucre et des sels solubles. Le procédé serait bien simple à appliquer s'il suffisait de laver le précipité et recueillir les eaux de lavage. Mais le précipité se lave difficilement, et on serait obligé de laver beaucoup et longtemps, et d'avoir des quantités d'eau considérables à évaporer proportionnellement à la quantité de sucre qu'il contient. Le Dr Stammer indique un moyen simple de résoudre le problème. L'écume pesée est additionnée d'eau, malaxée, traitée par l'acide carbonique et portée à l'ébullition. Dans cet état, on pèse le tout, soit A le poids de l'écume carbonatée et du liquide. Alors on filtre sans laver le précipité, et le liquide traité par l'acétate de plomb et filtré bien clair est vu au saccharimètre, qui indique combien 100 de ce liquide contiennent de sucre. C'est après cette opération que l'on lave le précipité complètement, qu'on dessèche et qu'on pèse. Soit B ce poids. (A-B) indiquera la quantité de liquide totale dont on a cherché le degré saccharimétrique p . Donc, le poids d'écume considéré contiendra comme sucre :

$$\frac{A - B}{100} p$$

Il faut avoir soin d'opérer rondement, de manière à éviter la fermentation de l'écume et du liquide, qui est très rapide.

D'après tous ces exemples, on peut conclure en tous les cas quel sera le meilleur procédé à employer quand on se trouvera en présence d'une substance sucrée quelconque à analyser. Nous passerons donc à l'étude des analyses des sucres.

CHAPITRE QUATRIÈME

ANALYSE DES SUCRES

Le sucre, tel qu'il sort de la fabrique, n'est pas du sucre pur ; il est allié encore, même les sucres les plus blancs, à des matières organiques et des sels ; il est humide et parfois contient du glucose. C'est parmi les sucres de canne que l'on rencontre surtout, et presque exclusivement, ce dernier élément. Lorsque le sucre a été raffiné, il contient encore des sels et de l'eau. Il est indispensable pour le fabricant de connaître à chaque instant la richesse de ses produits pour établir ses rendements.

L'analyse des sucres se divisera donc en plusieurs phases.

Recherches de :	Sucre	%
—	Glucose	%
—	Cendres	%
—	Eau	%
	Matières indéterminées . .	%.

TITRE 1^{er}

ANALYSE COMMERCIALE

§ 1. — Sucre.

Nous avons vu que la graduation du saccharimètre correspond, pour le point 100, au poids de 16 gr. 29, de sucre pur dissous dans l'eau, sous le volume de 100 centimètres cubes.

Pour doser la quantité de sucre cristallisable que contient un échantillon de sucre brut, on en pèsera 16 gr. 29, que l'on introduit dans une fiole de 100 centimètres cubes, on y ajoutera une quantité d'eau suffisante pour le dissoudre, puis, après avoir versé dans la dissolution une quantité de sous-acétate de plomb suffisante pour précipiter toutes les matières organiques, on complètera exactement le volume de 100. Après

avoir bien agité le liquide, en renversant la fiole plusieurs fois et l'agitant en la bouchant avec le pouce, on le jettera sur un filtre, et le liquide filtré vu au saccharimètre donnera le sucre cristallisable contenu dans 100 du sucre brut analysé.

L'opération, fort simple, demande quelques précautions. Le sucre pesé au milligramme, dans une main mobile, est versé dans un entonnoir placé au-dessus du flacon de 100 où il sera dissous. Comme ce sucre est humide généralement, il ne tombera pas de suite dans la fiole. On sera donc obligé, au moyen d'une injection d'eau, de délayer le sucre dans l'entonnoir pour qu'il se réunisse dans le fond de la fiole. On emploie pour verser l'eau une *pissette*, espèce de ballon de verre du fond duquel part un tube recourbé et effilé pour l'évacuation de l'eau qu'il contient, sous l'action d'une pression d'air que l'on effectue soit avec la bouche au moyen d'un second tube, soit avec une poire en caoutchouc. Ensuite avec cette même pissette on nettoiera l'entonnoir du sucre qui le souille encore, en faisant tomber cette eau de lavage dans la fiole. Il faut donc que l'entonnoir ait la douille large et courte, et, autant que possible, qu'il ne touche pas les bords de la fiole ; en tout cas il ne doit pas en fermer par trop l'ouverture, sans quoi le liquide en entrant dans la fiole et chassant l'air devant lui, pourrait être entraîné dehors et déborder, ce qui forcerait à recommencer. On emplit ensuite la fiole aux trois quarts pour dissoudre le sucre, et on continue l'opération comme il a été dit précédemment.

Les sucres de betterave demandent parfois très peu de sous-acétate. Si l'on voit que le liquide se trouble à peine sous son influence, il arrivera presque toujours qu'on aura ajouté trop d'acétate, et que le liquide filtrera trouble. Dès lors, pour parer à cet inconvénient, lorsqu'on juge qu'il doit se produire, on ajoute, avant d'affleurer au trait 100, quelques gouttes de tannin, on agite et l'on affleure. Cette dernière opération se terminera très facilement et très sûrement en se servant d'un compte-gouttes ; mais comme le plus souvent des mousses empêcheront la vision nette du ménisque, on les abattra au moyen d'une goutte d'un mélange d'alcool à 95 et d'éther.

§ 2. — Humidité.

L'humidité est donnée par une simple dessiccation dans une capsule de porcelaine, cuivre ou platine, portée à 105° pendant trois quarts d'heure ou une heure. On laisse refroidir dans une atmosphère sèche et l'on pèse. On se contente même parfois de peser tiède pour éviter l'absorption d'humidité, mais cette manière d'opérer est entachée d'erreur.

D'ailleurs la détermination de l'humidité est toujours une opération analytique difficile pour être exacte, à cause de la ténacité avec laquelle l'humidité persiste dans certains cas. Mais comme ici elle n'influe en rien sur les rendements, l'à-peu-près est très suffisamment approximatif. L'opération se fait sur 4, 5 ou 10 grammes.

§ 3. — Glucose.

Le liquide filtré pour l'usage du saccharimètre, traité par une faible quantité de sulfate de soude qui précipite l'excès de plomb, ou même tel qu'il est, peut servir pour la recherche du glucose. On ne peut pas se servir pour cette opération d'une solution pure et simple de sucre, les impuretés qu'il contient pouvant réduire le sel de cuivre. Lorsque l'on versera dans la liqueur alcaline la solution déféquée par le sous-acétate de plomb non saturé préalablement, un léger précipité floconneux d'oxyde de plomb naîtra dans la liqueur, mais ne gênera en rien l'observation. Pour faire le calcul, une simple proportion du nombre de degrés de la burette au poids de sucre 16,29, donnera la quantité de glucose. On peut d'avance calculer ce rapport avec un nombre suffisant de décimales et le diviser ensuite par le nombre de divisions obtenues. En effet, si n est le nombre de divisions ou centimètres cubes obtenus pour décolorer 10 centimètres cubes de la liqueur normale, ces n centimètres contiendront $0^{\text{sr}},05$ de glucose, soit dans la fiole de 100 centimètres cubes $\frac{0,05 \times 100}{n}$ de glucose. Or, cette fiole contient 16,29 de sucre, donc 100 de sucre contiendront $\frac{0,05 \times 100 \times 100}{n \times 16,29} = \frac{30,693}{n}$.

§ 4. — Cendres.

L'incinération de 5 grammes de sucre mouillés d'acide sulfurique dans une capsule de platine, donne une cendre blanche sans points noirs, qui, pesée et diminuée de $1/10$, donnera le poids des cendres de 5 grammes, puis de 100 par proportion.

Plusieurs précautions sont nécessaires. La capsule de platine doit être essuyée avec soin, surtout en hiver, et tarée bien sèche, car lorsqu'après l'incinération on la retire du moufle, elle est parfaitement sèche. En effet lorsqu'une capsule de platine est restée quelque temps à l'air elle se recouvre de vapeurs condensées qui entacheraient d'erreur le résultat de l'analyse. Pour les sucres de betterave il faut verser l'acide de manière à bien imbiber la masse, sinon l'incinération est difficile, et,

de plus, le moufle doit être tenu au rouge sombre sous peine de fondre et volatiliser les cendres. Pour le sucre de canne l'acide peut être en moindre abondance, et le moufle chauffé beaucoup plus fort. Toute cendre fondue est à recommencer, et de même lorsque dans sa masse elle conserve des points noirs de charbon englobés dans un peu de sel fondu et indécomposables.

Enfin nous ferons remarquer que le poids de 5 grammes n'est pas absolu. Dans les laboratoires de l'État on pèse 4 grammes dans une capsule de platine ; ces 4 grammes servent d'abord à doser l'humidité, puis sont calcinés avec l'acide sulfurique. D'ailleurs, pour assurer une plus grande exactitude dans l'analyse et éviter toute cause d'erreur, toutes les incinérations sont faites en double par deux opérateurs différents, précaution indispensable et que l'on ne devrait jamais négliger dans aucun cas.

Lorsque l'on retranche 1/10 des cendres sulfuriques pour passer aux cendres réelles, on fait une erreur. En effet Pagnoul l'a montré par les analyses suivantes, exécutées sur une cendre, moyenne de 8 à 900 échantillons recueillis au laboratoire d'Arras. Cette cendre avait la composition suivante :

Sulfate de potasse	61,3
— soude	19,5
— chaux	12,5
Phosphate (alumine et fer)	1,5
Matière insoluble siliceuse	2,2
Corps non déterminés	3
	<hr/>
	100,0

Si aux sulfates on substitue les carbonates alcalins, en tenant compte de la quantité d'acide chlorhydrique normale que contiennent les sucres, on trouvera dans les cendres réelles la composition suivante pour les matières modifiées par l'acide sulfurique :

Carbonate de potasse	48,6
— soude	14,5
Corps indéterminés	3,1 (que l'on peut à la rigueur laisser).
Acide chlorhydrique	3,8 (pour tenir compte de la différence d'HCl et de CO ² , nombre beaucoup trop fort).
	<hr/>
	70,0

Au lieu de 83,8, que l'on avait pour les mêmes sels transformés en sulfate. C'est donc plutôt 2/10 qu'il faudrait ajouter à ce nombre pour avoir les cendres sulfuriques : $70 + \frac{2 \times 70}{10} = 84$. Si maintenant on passe à l'analyse complète, on aura :

Cendres sulfuriques.	100
— réelles	80,3

Il faut donc pour passer des cendres sulfuriques aux cendres réelles retrancher réellement $\frac{2}{10}$ des premières et non $\frac{1}{10}$, comme on le fait généralement. La conséquence de cette erreur est assez grave, vu que les cendres étant trop fortes, le rendement calculé au coefficient 4 est trop faible, ce qui frustre toujours quelqu'un, le vendeur dans certains cas, le Trésor presque toujours.

Méthode des cendres solubles. — Les sucres bruts, surtout les sucres exotiques de canne, contiennent parfois des impuretés insolubles, telles que sable, bois, etc. Lorsque l'on pèse 4 grammes de ces sucres on est exposé à introduire dans les cendres des cailloux, des cendres de bois qui vicent considérablement le rendement. Pour obvier à cet inconvénient, on dissout dans l'eau un poids de sucre beaucoup plus considérable, soit 20 grammes, par exemple, on en forme 100 centimètres cubes de solution que l'on filtre. La filtration s'opère assez lentement et ne donne pas un liquide bien limpide lorsqu'il y a de l'argile mêlé au sucre, car l'argile passe à travers le filtre. Si l'on prélève 20 centimètres cubes de ce liquide ils contiendront 4 grammes de sucre, c'est-à-dire exactement la prise d'essai ordinaire. Ces 20 centimètres cubes seront dès lors placés dans une capsule de platine, évaporés à consistance sirupeuse, enfin additionnés d'acide sulfurique et calcinés. On aura ainsi éliminé les chances d'erreur provenant des sables et impuretés insolubles, mais cette méthode a tous les inconvénients des opérations où l'on mesure des liquides, opérations que l'on cherche généralement à remplacer par la pesée dans les cas qui demandent une grande exactitude. Aussi ne devra-t-on l'employer que lorsque l'on sera en présence de sucres manifestement impurs.

§ 5. — Matières indéterminées.

En faisant la somme de tous les résultats précédents, sucre, glucose, cendres et humidité, et la retranchant de 100, on obtient un nombre qui représente les impuretés organiques entachées des erreurs de l'analyse et que l'on appelle *inconnu*.

Si cet inconnu était nul ou même négatif, comme nous l'avons observé avec certaines vergeoises, c'est que le sucre contiendrait de la raffinose, et il faudrait alors employer les méthodes décrites précédemment pour son dosage.

TITRE II

MÉTHODES DIVERSES

§ 1. — Procédé Payen.

Payen a décrit ainsi qu'il suit un procédé d'analyse des sucres bruts :
« ... Fondé sur l'insolubilité du sucre en cristaux dans l'alcool saturé de sucre pur, tandis que les substances étrangères sont solubles dans ce liquide. Voici comment on opère :

« On prend un échantillon moyen de sucre à essayer qu'on divise légèrement dans un mortier pour rompre les agglomérations sans briser les cristaux ; après avoir pesé 10 grammes de ce sucre on les introduit dans un tube de 15 millimètres environ de diamètre et de 30 centimètres de longueur, puis on ajoute environ 10 centimètres cubes d'alcool anhydre, pour enlever les 3 à 5 centièmes d'eau que les sucres bruts contiennent ; on agite, on laisse déposer et on décante ; ensuite on verse dans le tube environ 60 centimètres cubes de la liqueur d'épreuve qui se prépare de la manière suivante : à un litre d'alcool à 85° on ajoute 50 centimètres cubes d'acide acétique à 8°, puis on fait dissoudre dans la liqueur 50 grammes de sucre blanc sec et pulvérisé ; cette quantité est celle qui sature la liqueur à 12° ; mais afin qu'elle reste saturée dans les changements de température, on suspend dans toute la hauteur du vase qui la renferme, des chapelets de cristaux de sucre candi blanc. La solution ainsi préparée peut dissoudre le sucre incristallisable, la mélasse, décomposer et dissoudre le sucrate de chaux sans dissoudre le sucre cristallisable, puisqu'elle en est saturée.

« La saturation laissant quelque chose à désirer dans les variations de la température extérieure, Numa Graar l'a rendue plus exacte en broyant dans un mortier du sucre candi mêlé à la liqueur d'épreuve ; filtrant alors, on obtient un liquide qui, employé immédiatement, donne toujours des résultats comparables, et permet d'apprécier les différences moindres que 1/2 centième dans la proportion de sucre pur cristallisé que contient un sucre brut.

« On ajoute donc 50 centimètres cubes de cette liqueur d'épreuve dans le tube, on agite, on laisse déposer, et dès que la liqueur est claire on la décante ; puis on ajoute une nouvelle quantité de liqueur d'épreuve égale à la première, on agite, on laisse déposer, et l'on décante encore.

Deux ou trois lavages suffisent ordinairement pour épurer le sucre cristallisé. On fait un dernier lavage avec de l'alcool à 90° pour enlever tout le liquide saturé de sucre interposé entre les cristaux. Il ne reste plus alors qu'à recueillir le sucre sur un filtre, le dessécher et le peser ; la différence entre le poids primitif de l'échantillon et le dernier poids obtenu indique l'eau et les substances étrangères solubles qui accompagnaient le sucre brut. Si le sucre contenait des substances insolubles, on déterminerait leur quantité en dissolvant ensuite tout le sucre dans l'alcool faible à 60° par exemple, filtrant et pesant le résidu resté sur le filtre. »

Un chimiste allemand, le D^r Scheibler, a cherché à rendre plus pratique le procédé en lui donnant les modifications suivantes. Il emploie l'alcool à différents degrés dans l'opération ; ces réactifs sont :

I. Alcool à 85 ou 86° chargé d'acide acétique fort (50 centimètres cubes par litre d'alcool) et saturé de sucre raffiné. On pile et l'on introduit ce sucre dans une bouteille fermant hermétiquement ; on y verse ensuite la dissolution susdite, en secouant de temps en temps pendant plusieurs jours.

II. Alcool à environ 92° } additionnés d'acides et saturés de sucre
 III. — — 96° } comme le précédent.

IV. — absolu (ou à 99,5) sans acide et sans sucre.

Les bouteilles qui contiennent ces solutions sont préalablement recouvertes d'un revêtement intérieur de sucre cristallisé en y introduisant une solution bouillante saturée de sucre dans l'alcool à 85° et les couchant au frais pendant plusieurs jours.

On pèse le sucre dans un petit tube taré ABC (fig. 195) garni intérieurement d'un tampon en feutre B et terminé par un tube étroit BC. On bouche ensuite sa partie supérieure avec un bouchon muni de deux tuyaux, dont l'un courbé horizontalement communique avec un flacon D de chlorure de calcium, et l'autre sert à l'introduction des liqueurs précédentes. La partie inférieure du tube communique avec un récipient E pour l'alcool, en communication lui-même avec une pompe. Au moyen d'une pipette F de 20 centimètres cubes environ, on introduit une première quantité d'alcool

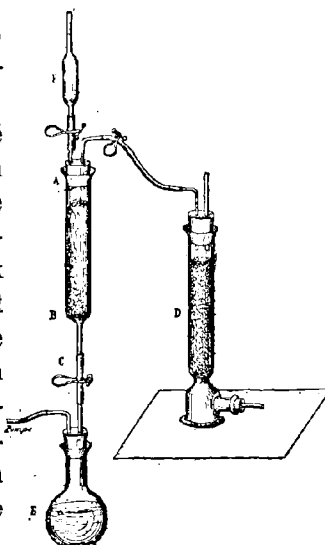


Fig. 195.

absolu n° IV. On aspire avec la pompe. On introduit de même l'alcool n° III, on aspire; puis n° II, puis n° 1 de la même manière. La purification doit être à ce moment presque achevée. Alors on fait passer une nouvelle quantité de n° II puis de n° III et n° IV, enfin un violent courant d'air chaud pour éliminer l'alcool. La pesée finale indique la quantité de sucre et de matière solide insoluble dans l'alcool. Une opération saccharimétrique indiquera la quantité exacte de sucre restant.

On opère sur 20 grammes de sucre environ, et la quantité totale de liquide de lavage est d'environ 110 ou 120 centimètres cubes.

Le procédé Payen, même modifié par Scheibler, ne réussit bien qu'avec les sucres cristallisés de bonne qualité, et est tout à fait impropre à l'analyse des bas produits. Aussi le D^r Gunning, d'Amsterdam, modifia-t-il légèrement le procédé, mais sans réussir à le rendre plus pratique dans le cas de sucres de mauvaise qualité. L'analyse française, telle que nous l'avons décrite précédemment, est préférable malgré ses imperfections et l'incertitude des coefficients. Nous revenons plus loin sur ces trois méthodes à propos du *calcul des rendements*.

§ 2. — Procédé Dumas.

Dumas a imaginé un mode d'essai basé sur la solubilité du sucre dans l'alcool, et exact pour les sucres titrant plus de 88 %. On mêle 1 litre d'alcool à 85° et 50 grammes d'acide acétique à 8°, on ajoute à la liqueur autant de sucre qu'elle en peut dissoudre. Elle marquera dans ces conditions 74° à l'alcoomètre. Si l'on agite 100 centimètres cubes de cette solution avec 50 grammes du sucre à essayer, et que l'on filtre, l'alcool dissoudra des impuretés et de l'humidité, et son degré aréométrique descendra. Chaque degré perdu par l'alcoomètre répondra exactement à 1 degré de diminution dans la richesse en sucre. Ainsi s'il reste à 74° c'est parce que le sucre est pur. S'il descend à 69°, le sucre est à 95 %; s'il descend à 64° le sucre est à 90, etc. Il faut tenir compte du sable et matières insolubles du sucre.

§ 3. — Procédé Péligot.

Péligot base son procédé sur la solution de la chaux par le sucre à l'état de $(3\text{CaO} \cdot 2\text{C}^{\text{H}}\text{O}^{\text{H}})$ dans les conditions suivantes : on pèse 10 grammes de sucre à essayer, on les dissout dans 75 centimètres cubes d'eau; à cette dissolution on ajoute peu à peu 17 grammes de chaux éteinte et tamisée; on broie pendant 8 à 10 minutes et on jette sur un filtre pour séparer l'excès de chaux. On prend 10 centimètres cubes de liquide

filtré qu'on étend de 2 ou 3 décilitres d'eau additionnés de quelques gouttes de teinture de tournesol, et on dose la chaux au moyen d'une solution acide titrée. Péligot emploie de préférence une solution sulfurique contenant 21 grammes d'acide à 66° qui sature la chaux dissoute dans 50 grammes de sucre. Le tableau ci-dessous indique le sucre correspondant à diverses quantités de chaux.

SUCRE dissous dans 100 d'eau	DENSITÉ du liquido sucré	DENSITÉ du liquide sucré saturé de chaux	100 DE SUBSTANCE sèche contiennent :		SUCRE dissous dans 100 d'eau	DENSITÉ du liquido sucré	DENSITÉ du liquide sucré saturé de chaux	100 DE SUBSTANCE sèche contiennent :	
			Chaux	Sucro				Chaux	Sucro
			40,0	1,122				1,179	21,0
37,5	1,116	1,175	20,8	79,2	17,5	1,060	1,092	18,7	81,3
35,0	1,110	1,166	20,5	79,5	15,0	1,052	1,080	18,5	81,3
32,5	1,103	1,159	20,3	79,7	12,5	1,044	1,067	18,3	81,7
30,0	1,096	1,148	20,1	79,9	10,0	1,036	1,053	18,1	81,9
27,5	1,089	1,139	19,9	80,1	7,5	1,027	1,040	16,9	83,1
25,0	1,082	1,128	19,8	80,2	5,0	1,018	1,026	15,3	84,7
22,5	1,075	1,116	19,3	80,7	2,5	1,009	1,014	13,3	86,2

§ 4. — Calcul des rendements.

On appelle rendement d'un sucre, la quantité de sucre raffiné que l'on présume devoir être fournie par le sucre brut. C'est pour arriver à la connaissance la plus exacte possible de ce rendement que l'on a imaginé les méthodes d'analyse que nous venons de décrire et les coefficients dont nous allons parler.

En France, d'après les travaux des savants dont nous avons cité les noms, on avait admis que lorsque l'on raffinait un sucre brut, les cendres immobilisaient dans les mélasses 5 fois leur poids en sucre et le glucose 2 fois son poids, en sorte qu'on avait le rendement du sucre en soustrayant du titre saccharimétrique un nombre égal à 6 fois le poids des cendres additionné de 2 fois le poids de glucose.

On a reconnu depuis que le coefficient 5 pour les cendres était réellement trop élevé, et on lui a substitué le coefficient 4. Pour le glucose

le coefficient 2 est également un peu fort. Le coefficient 1 serait plus admissible, mais n'est pas encore entré dans la pratique. Enfin, lorsque l'on fait les cendres du sucre, on le calcine avec de l'acide sulfurique et on admet qu'en retranchant $\frac{1}{10}$ du nombre trouvé, ou en multipliant ce nombre par 0,9, on a la quantité de cendres réelles du sucre ; mais nous avons vu qu'il y a de ce côté une certaine incertitude.

En définitive, on remarque que dans ce mode de calcul au moyen de coefficients on n'obtient que des nombres approchés parce que ces coefficients sont variables avec chaque espèce de sucre. Et cependant l'usage des coefficients 4 et 2 restent en vigueur parce l'on n'a pas trouvé de méthode plus correcte pour arriver au résultat demandé.

C'est à cause de cela que les allemands, en 1870, ont décerné un grand prix au procédé Payen ressuscité par Scheibler, parce que ce dernier prétendait avoir trouvé, dans les quelques modifications qu'il avait apportées au procédé Payen, une méthode sûre pour connaître le rendement d'un sucre au raffinage.

Le calcul se fait ainsi :

- 1° On polarise une portion de sucre ;
- 2° On lave à l'alcool, comme nous l'avons indiqué, une autre portion du sucre ;
- 3° On pèse le résidu sec qui, soi-disant, ne contient que le sucre cristallisé contenu dans le sucre brut ;
- 4° On polarise une portion du résidu.

Le sucre contenu dans le résidu sec, calculé d'après son degré polarimétrique, retranché du sucre total que la polarisation avait fait reconnaître dans l'échantillon original, indiquait le sucre entraîné dans la mélasse pendant le raffinage.

Ce procédé allait bien avec un sucre assez pur ; mais avec un sucre impur de bas produit, il donnait des résultats tout à fait erronés ; aussi le procédé Payen-Scheibler, malgré la haute récompense dont il avait été honoré, fut-il tout à fait abandonné, même en Allemagne.

C'est alors que le professeur Gunning, en Hollande, imagina son procédé qui est une correction du précédent :

- 1° On pèse une quantité de sucre égale à la prise d'essai nécessaire pour le saccharimètre ;
- 2° On lave comme dans le procédé Scheibler ;
- 3° On dissout et regarde au saccharimètre le sucre ainsi lavé.

Le nombre ainsi obtenu représente, selon Gunning, le rendement au raffinage.

Mais ici le même écueil s'est présenté comme pour le procédé Scheibler ; avec les sucres de bas produits le lavage ne peut se faire exacte-

ment. Aussi ce procédé n'est-il applicable qu'en faisant usage de coefficients variables avec la qualité des sucres, coefficients d'ailleurs très difficiles à déterminer, en sorte que le procédé français est encore celui qui est le moins entaché d'erreurs et le plus rationnel.

Nous ne parlerons pas des autres méthodes d'évaluation de la richesse des sucres, dites méthodes des quatre cinquièmes et autres, méthodes empiriques et non scientifiques qui ne donnent aucun résultat digne même d'un moment d'attention, et qui sont appelées à disparaître complètement des habitudes commerciales.

Si nous prenons un sucre quelconque donnant à l'analyse :

Sucre au (saccharimètre)	93,75
Glucose	0,12
Cendres sulfuriques — 1/10	1,50
Humidité.	1,80
Inconnu (par différence)	2,83
	100,00

Son rendement sera :

$$93,75 - (0,12 \times 2 + 1,50 \times 4) = 87,51.$$

TITRE III

ANALYSE DES MÉLASSES

L'analyse des mélasses est complexe, comme sa composition d'ailleurs. On peut y doser l'eau, le sucre, l'incristallisable, les sels, les matières organiques, le raffinose, et même, dans l'incristallisable vérifier les proportions de glucose et lévulose.

§ 1. — Humidité.

Le dosage de l'eau se fait facilement par dessiccation à 100 ou 103° dans l'étuve, mais elle dure au moins 12 heures. Pour l'activer on ajoute dans la capsule de la pierre ponce de poids connu ou du sable fin. Mais dans le commerce l'aréomètre seul sert à indiquer de combien une mélasse a été mouillée. On l'achète généralement à 40 ou 42° valeur marchande avec augmentation ou diminution par degré en plus ou en moins.

On peut faire une formule indiquant la quantité de mélasse à un certain degré fort (Baumé) par volumes de mélasse de degré faible.

Soit V le volume de la mélasse de degré faible en hectolitre.
 d la densité correspondante de la mélasse de degré faible.
 D — — — — au titre voulu.
 d et D exprimés en millièmes on a :

$$Q^{\text{kil}} = \frac{V \times (d - 1000) \times D}{D - 1000}$$

Ainsi 250 hectolitres de mélasse à 12° B ($d = 1,090$) sont composés de $Q = 8,266$ kilogrammes de mélasse à 40° B ($D = 1,374$). Car on a :

$$Q = \frac{250 (1090 - 1000) 1374}{1374 - 1000} = 8,266$$

§ 2. — Sucre, glucose, raffinose.

Le sucre se dose d'une manière assez pénible à cause de la coloration de la mélasse. Le problème est donc d'obtenir un liquide capable d'être vu au saccharimètre.

Voici l'ancienne méthode. On envisage la mélasse comme si elle était un sucre, et on la traite comme tel. Seulement on dissout 3 fois 16,29 ou 48^{gr},87 dans une fiole de 300 centimètres cubes. La pesée se fait dans une capsule ou un verre taré dans lequel on commence la dissolution avec de l'eau tiède. On verse dans la fiole, lave la capsule en faisant tomber ces eaux dans la fiole, et laisse refroidir. Avant de compléter le volume de 300 on ajoute 20 à 25 centimètres cubes de sous-acétate pour précipiter les matières organiques, et on affleure au trait. On agite par renversement et l'on filtre. Le liquide est brun. Pour le décolorer on le filtre sur le noir. Pour cela on met dans un verre 80 centimètres cubes de la liqueur. On agite et verse sur un filtre. On laisse écouler le liquide qui est de 50 centimètres cubes environ. On jette encore 80 centimètres cubes de liqueur sur le noir et on recueille encore 30 ou 40 centimètres cubes, en sorte que, réunis aux 50 précédents, on a un volume de 80 ou 90 centimètres cubes que l'on jette, parce que le noir en a changé le degré en s'humectant. Alors on ajoute le restant de la liqueur sur l'entonnoir, et le liquide qui passe, reversé 4 ou 5 fois sur le même noir devient assez limpide pour être vu au saccharimètre. La mélasse titre 40 ou 50 %.

Dans la liqueur précédente on dosera l'incristallisable comme pour les sucres bruts. On croyait généralement que cet incristallisable agissait sur la lumière polarisée, mais les travaux de Girard, Muntz, etc., prouvent le contraire; ce sucre est tout à fait inactif, en sorte que l'usage que

l'on avait de faire la contre-épreuve de la richesse saccharine par l'inversion est tout à fait inutile.

Cependant, le sucre réducteur n'est pas toujours inactif, et la mélasse contient souvent de la raffinose. Le problème devient alors très complexe. De plus certaines mélasses sont tellement impures que l'on doit mettre des quantités importantes de sous-acétate de plomb pour précipiter les matières organiques et décolorer un peu. Alors la liqueur est souvent louche.

On est donc souvent obligé de faire l'inversion Clerget quand l'incristallisable est actif, et, dans ce cas, d'enlever le plomb en excès.

On précipite généralement le plomb par le sulfate de soude. Pellet trouve préférable d'employer l'acide sulfureux, parce que l'on n'introduit pas ainsi d'alcali qui gênera plus tard pour l'inversion, puisqu'on devra le saturer ensuite par l'acide sulfurique ou chlorhydrique que l'on ajoute dans la liqueur. Seulement le sulfite de plomb est difficile à filtrer, autant que le sulfate de baryte; il faudra donc filtrer sur de bon papier.

Pellet reproche à l'acide sulfurique d'attaquer certaines matières organiques qui donnent ainsi des réducteurs, aussi préfère-t-il l'acide chlorhydrique.

Lindet, pour éviter l'inconvénient précédent, propose de mettre dans la mélasse un peu de poudre de zinc. L'acide que l'on ajoute porte son effet le plus actif sur le zinc, tout en décomposant néanmoins le sucre sans attaquer les matières organiques. De plus, il se dégage de l'hydrogène naissant qui aide à la décoloration de la mélasse, et, finalement l'excès d'acide est saturé par le zinc, de sorte que l'on n'est plus obligé d'observer strictement le temps que reste la mélasse dans le bain-marie pour l'inversion.

Les calculs se font d'ailleurs comme nous l'avons dit antérieurement pour le calcul du sucre en présence du raffinose. Si l'on a réducteur et raffinose, on remarquera que, d'après Pellet, 1 de raffinose anhydre correspond à 0,86 de sucre interverti, ce qui permettra de calculer l'un et l'autre.

Enfin, connaissant tous ces éléments, la différence observée entre le pouvoir rotatoire du mélange tel qu'il devrait être et celui qui est réellement donnera le pouvoir rotatoire de l'incristallisable.

C'est donc une analyse très complexe qui, heureusement, offre peu d'intérêt industriel. Mais il est bon de pouvoir la faire si l'on rencontre des écarts trop considérables dans les rendements ou les pertes indéterminées.

§ 3. — **Matières salines.**

Le dosage des sels est d'une importance non moins grande que celui du sucre, car une grande industrie, celle des salins de mélasse, est basée sur cette connaissance. L'opération se fera comme pour le sucre. Dans une capsule on pèsera 4 ou 5 grammes de mélasse, on l'humectera d'acide sulfurique; seulement il faudra calciner très lentement à cause de la grande quantité de charbon qui est en présence et qui réduirait les sulfates en sulfures. Dès lors, on fait le commencement de la calcination à l'entrée du moufle en plein air, et quand le charbon est bien formé on peut pousser un peu plus loin pour achever la combustion, puis finalement ajouter quelques gouttes d'acide, et l'on chauffe au rouge. Le poids des cendres sulfatées, diminué de $\frac{1}{10}$, donne les cendres réelles. Mais ce coefficient de $\frac{1}{10}$ n'est pas constant pour toutes les mélasses. On devra donc former ce coefficient pour chaque espèce de mélasse courante de l'usine par tâtonnement en faisant les cendres réelles par lavage du charbon de la mélasse. Pour effectuer cette dernière opération on introduit de la mélasse dans une capsule et la place devant le moufle porté au rouge; la mélasse se boursoufle et se carbonise légèrement. On met alors la capsule quelques instants dans le moufle au rouge très sombre; la carbonisation s'effectue alors complètement, et, lorsqu'on juge qu'elle est terminée, la masse se présente sous forme d'une matière noire, spongieuse, légère et parfaitement sèche dans toutes ses parties. On recueille ce charbon dans une capsule plus grande, on détache celui qui adhère à la capsule de platine avec une spatule, on y fait bouillir de l'eau à plusieurs reprises pour la bien nettoyer, et enfin on couvre le charbon dans la grande capsule avec de l'eau et fait bouillir. On décante, lave encore à l'eau bouillante deux ou trois fois; on filtre toutes ces eaux, qui contiennent les matières salines de la mélasse, puis on les évapore au bain-marie. Le même procédé servirait pour déterminer les cendres réelles des sucres, des betteraves et de toute matière du même genre.

Pour doser les sels, on peut encore faire fermenter la mélasse ou la solution sucrée, filtrer, évaporer, puis calciner. On se rapproche alors du travail des salins proprement dits, et l'on se place sur le véritable terrain industriel.

Le dosage des nitrates dans la mélasse peut se faire par le procédé F. Jean, que nous décrivons plus loin (analyse des terres). On emploie 2 grammes de mélasse diluée et le volume du gaz bioxyde d'azote obtenu varie de 6 à 14 centimètres cubes (p. 1007).

§ 4. — **Matières organiques.**

Margueritte, à propos de son travail des mélasses par l'alcool, a donné la liste des principales matières organiques que l'on rencontre dans la mélasse. Les procédés qu'il recommande pour en faire l'analyse sont les suivants.

1° Précipitation des sels organiques par l'acétate de plomb neutre, puis par le sel tribasique, et décomposition des sels de plomb par l'hydrogène sulfuré;

2° On traite les sels potassiques par un mélange d'alcool et d'acide sulfurique qui forme du sulfate de potasse insoluble dans l'alcool, et l'alcool dissout l'acide organique déplacé (Liebig, Gmêlin, Zeise, etc.) En agissant ainsi avec l'alcool à 85° et 5 % d'acide sulfurique, la dissolution renferme du sucre, des matières colorantes, des acides végétaux et minéraux. Puis en additionnant cette solution de 2 ou 3 volumes d'alcool à 95 % et agissant sur des liquides très concentrés, sous l'influence de cet excès d'alcool, le sucre est précipité avec les sulfates et diverses substances. Margueritte a constaté :

Dans la liqueur	Dans le précipité
Acide métapectique	Sucre (67 %)
— parapectique	Métapectine
— lactique	Parapectine
— malique	Acide apoglucique
— valérianique	Sulfates de potasse, de soude, de chaux.
Mannite.	
Assamare.	
Matière colorante.	

En retraitant le précipité par l'alcool à 70 ou 80 pour 100 on redissout le sucre et laisse insoluble la plupart des matières organiques.

§ 5. — **Moyennes.**

Voici les résultats comparatifs de quelques analyses de salins de mélasse :

	NORD.	NORD.	AISNE.	DIVERSES.	PUY- DE-DOME.	ALLE- MAGNE.
Carbonate de potasse	22,67	30,37	45,30	29,33	55,82	43,71
— de soude.	26,15	21,49	13,86	16,38	5,54	14,20
Chlorure de potasstum	27,65	19,31	17,02	22,40	8,85	15,52
Sulfate de potasse	8,00	10,9	8,00	4,48	17,59	8,05
Silice, alumine, chaux, etc	14,68	17,92	15,82	27,41	12,20	18,52
Eau	0,80					
Portes	0,05					
	100	100	100	100	100	100
Degré alcalimétrique.	40,28			35,85		

100 kilogrammes de mélasse donnent 10 kilogrammes de salin. La fermentation de la mélasse s'opère en ajoutant 2 % d'acide sulfurique. Voici quelques analyses de mélasse à 42 pour distillerie :

	FRANÇAISE	ALLEMANDE	ALLEMANDE	ALLEMANDE
Sucre	46,43	45,93	46,93	49,85
Incristallisable	1,57	2,15	»	»
Eau	19,50	19,43	19,00	19,70
Cendres.	10,48	7,97	8,30	7,61
Matières organiques	22,02	24,52	25,77	22,84

Ces analyses, que nous donnions dans notre première édition, méritent d'être comparées à celles indiquées page 779. En effet, sauf la première qui a 4,43 de coefficient salin, les trois autres ont 6 en moyenne avec 59 de pureté. Ce ne sont donc pas des mélasses, car elles cristalliseraient encore en emplis. Ceci prouve qu'à certains moments les fabricants ont eu avantage à vendre comme mélasse des produits riches, mais ce fait est tout à fait exceptionnel.

CHAPITRE CINQUIÈME

ANALYSES DIVERSES

TITRE I^{er}

ANALYSE DES TERRES ARABLES

L'analyse des terrains dans lesquels on cultive la betterave est devenue une des questions les plus intéressantes de la chimie agricole, depuis l'emploi journalier des engrais minéraux. Tel sol riche en matières azotées ne devra pas recevoir de pareils engrais, tandis que d'autres fort pauvres devront en recevoir en abondance ; et tandis que le premier sera pauvre en potasse, le second pourra en regorger, de telle sorte que l'application raisonnée des nouveaux engrais implique l'analyse détaillée du sol sur lequel on veut l'employer. Telle est donc l'importance de cette branche d'analyse qu'elle devient de plus en plus indispensable à l'agriculture moderne. La betterave, qui nous occupe spécialement, est une racine longue, pivotante et dont les radicelles s'avancent profondément dans les terres, et d'autant plus que cette terre sera plus convenable à son accroissement par sa richesse et sa malléabilité. Tel terrain dont la surface arable est de bonne qualité ne donne que de piètres résultats parce que son *sous-sol* est trop dur ou trop pauvre ou trop humide, etc. La connaissance de la nature de ce sous-sol est donc au moins aussi utile que celle de la surface où la charrue passe ordinairement. Donc l'analyse des terres devra s'étendre non seulement sur celles que chaque année le laboureur retourne et fume, mais aussi sur ce sous-sol dont la connaissance est indispensable avant de se livrer à une culture quelconque.

L'analyse se composera de deux séries d'opérations. L'une essentiellement mécanique, qui permettra de juger de la composition physique du sol, c'est-à-dire sa contenance en cailloux, sable, argile ; l'autre chimique, ayant trait à la nature des parties solubles et organiques, c'est-à-dire fertilisantes du sol, que l'on aura séparées des matières précédentes.

§ 1. — Prise de l'échantillon

L'une des opérations principales de l'analyse, celle qui influe le plus sur la quantité de lumière que l'expérience peut apporter dans l'esprit du cultivateur, c'est la prise de l'échantillon, opération qui devra être faite avec grand soin et connaissance de cause, pour ne pas conduire à une erreur. On pourra, pour arriver à un résultat suffisant, enlever à la bêche, sur différents points du champ, une brouettée de terre enlevée de la surface au sous-sol verticalement, de manière à avoir une moyenne de toutes les couches arables. Toutes ces brouettées, réunies sur une aire, seront bien mélangées à la pelle, et c'est sur ce tas que l'on devra prélever un échantillon de trois ou quatre kilogrammes environ.

§ 2. — Premières déterminations mécaniques

L'échantillon sera d'abord mis à l'étuve à 100° pour le dessécher complètement, de manière à le rendre friable. Alors on sépare à la main les pierres très grosses qui dépasseraient, par exemple, la grosseur d'une noisette, et on pèse 500 grammes de cette terre finement pulvérisée.

On tamisera ensuite sur un tamis de crin qui retiendra le gravier, les pailles, les radicules. On peut tenir compte de cette première élimination dont on calculera le tant pour cent. Mais l'analyse réelle ne commence que là seulement.

La terre tamisée est ensuite traitée par l'eau de la manière suivante : 250 grammes de terre sont placés dans un flacon d'un litre qu'on remplit d'eau distillée chaude. On agite fortement. La liqueur est troublée par la mise en suspension de matières légères, tandis que le sable tombe au fond. Après une ou deux minutes seulement de repos on décante ce liquide trouble dans un grand verre à précipité. Au fond du verre tombe encore un peu de sable. On attend encore une minute, et lorsque le dépôt devient lent on décante rapidement de nouveau dans un autre verre. Tout le sable est resté dans les deux premiers vases ; le troisième ne contient plus que l'eau chargée d'argile, de matières organiques et tenant les sels en dissolution. Cette eau est versée sur un filtre qui retient toutes les matières solides.

On a donc séparé de la sorte les matières lourdes insolubles dans le ballon et le premier verre, les matières légères insolubles sur le filtre, les matières solubles dans l'eau de lavage.

Matières lourdes insolubles. — On les réunit dans une capsule de por-

celaine au moyen d'une pissette, on décante l'eau, on dessèche à 100° et on pèse. On a la somme du sable siliceux et calcaire du terrain. Ce sable est traité par de l'acide nitrique étendu qui dissout tout le calcaire, dissolution qui est terminée lorsque le mélange légèrement chauffé ne produit plus d'effervescence ; alors on décante, on lave et on dessèche le sable ; la pesée indique le poids de sable siliceux ; la différence avec la pesée précédente donne la partie calcaire ; enfin le liquide nitrique et les eaux de lavage peuvent servir à déterminer si le carbonate contient, outre la chaux, de la magnésie.

Matières légères insolubles. — Elles contiennent de l'argile, du calcaire, du sable très fin, des matières organiques. Lorsque l'on a réuni ces matières sur le filtre, on perce le filtre sur l'entonnoir, et au moyen de la pissette on lave soigneusement le filtre de manière à faire tomber toutes les matières solides dans une capsule en porcelaine. On évapore l'eau, on dessèche à 100° et l'on pèse. On peut encore commencer par peser directement sur le filtre taré à l'avance, après dessiccation du filtre et de la matière. L'aspect et le tact de ces matières indiquent assez bien leur composition quand on est exercé. L'argile pure, très onctueuse, devient de plus en plus rugueuse lorsqu'elle est chargée de sable. Pour obtenir une donnée suffisamment approximative de la quantité de matière organique que contient cette argile, on la calcine au rouge. Les matières organiques se brûlent, et la pesée avant et après l'incinération donne la quantité de ces matières organiques, augmentée d'une certaine quantité d'eau de constitution de l'argile qu'elle ne perd qu'à une haute température. Il y a aussi une certaine quantité de calcaire que décèle l'acide nitrique comme précédemment.

Matières solubles. — Elles sont composées de sels et de matières organiques. Le liquide en effet est jaune. On l'évapore au bain-marie en commençant l'opération dans une capsule en porcelaine assez grande pour contenir tout le liquide, puis, vers la fin, on verse le liquide épais dans une capsule de platine placée sur un bain-marie et on lave le vase de porcelaine en réunissant ces eaux peu à peu dans la capsule de platine. On dessèche complètement à 100° à l'étuve, on pèse et on a la somme de matières minérales et organiques. On calcine alors jusqu'à ce qu'on obtienne des cendres blanches que l'on pèse à leur tour et qui donnent la quantité de sels fixes que contenait la terre, car les matières organiques et les sels volatils ont disparu dans l'incinération.

§ 3. — Travail chimique.

Ces premières déterminations ne suffisent pas pour donner les indications nécessaires au cultivateur. Il saura bien par là si ses terres sont riches en argile et en matières organiques et salines, mais s'il veut savoir la nature de ces matières, il doit procéder à une série d'expériences essentiellement analytiques que nous allons passer promptement en revue.

Les principaux éléments que l'on ait à rechercher dans les terres, ce sont ceux qui constituent les cendres de la betterave et ceux qui favorisent leur assimilation. Nous rechercherons donc l'azote du sol, et dans quelles proportions d'ammoniaque et de nitre il est contenu ; le phosphate de chaux, l'acide carbonique qui se trouve avec l'acide sulfurique uni à la chaux, la potasse et la soude, les chlorures, et enfin la quantité des alcalis unis à tous ces acides.

Les terres maintiennent tous ces sels soit à l'état soluble dans l'eau, soit solubles dans les acides dilués, soit insolubles dans ces deux éléments. Les deux premiers états seuls nous occuperont.

Nous commencerons donc par traiter 1 ou 2 kilogrammes de terre sèche par l'eau bouillante, et dans ce liquide nous chercherons déjà une partie des sels. La partie de terre restante sera traitée par l'eau acidulée avec de l'acide chlorhydrique que l'on ajoute jusqu'à cessation d'effervescence, on chauffe en remuant, on laisse déposer, décante, et épuise cette terre à l'eau bouillante. Le résidu est un corps inerte duquel on ne peut retirer de matière saline que par décomposition profonde, par l'acide sulfurique concentré.

Azote total. — Nous savons que l'azote est contenu à l'état d'ammoniaque, d'acide nitrique et de matières organiques dans les terres. Un dosage ordinaire de l'azote, comme nous l'avons déjà indiqué dans un chapitre précédent, nous indiquera la quantité totale contenue dans la terre. (Voir page 968 et page 1031.) Ici se place une difficulté. Le dosage de l'azote total se fait généralement en attaquant la matière azotée par la chaux sodée dans un tube chauffé ; l'azote se transforme en gaz ammoniac que l'on dissout dans une liqueur acide titrée. Or, dans les analyses de terre, il arrive que l'azote nitrique n'est pas toujours complètement détruit. Pellet, pour éviter cette cause d'erreur, conseille de mélanger la terre à analyser avec du sucre, ou plutôt de la féculé ; alors l'azote nitrique se transforme facilement en ammoniaque, et l'analyse devient exacte. Le corps à analyser ne doit jamais contenir plus de 15 à 20 % de nitrate.

Ammoniaque. — Boussingault a donné un procédé commode pour doser l'ammoniaque dans des conditions analogues. Son procédé fort simple consiste à mettre la solution ammoniacale en contact forcé, par une aspiration, avec de la chaux hydratée à chaud. L'ammoniaque se dégage et va se condenser dans un tube contenant une solution acide titrée, dans laquelle on le dosera facilement ensuite. L'appareil se com-

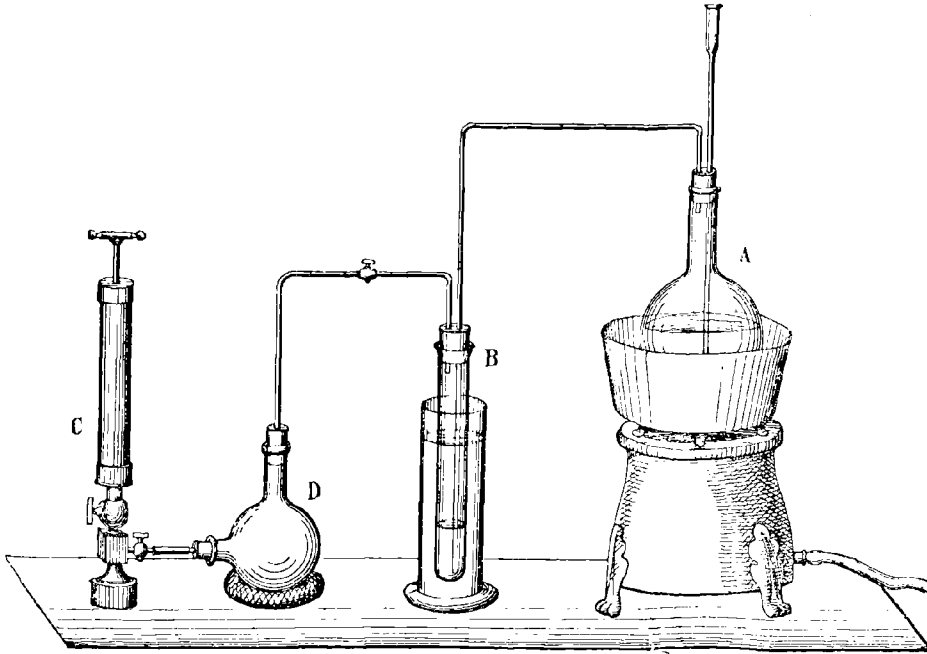


Fig. 496.

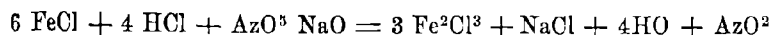
pose donc (fig. 196) d'un ballon A contenant la solution ammoniacale et la chaux vive, placé sur un fourneau, au bain d'eau salée; d'un tube de dégagement se rendant dans le tube B contenant la liqueur titrée; à la suite de ce tube une pompe quelconque C avec un vase de sûreté D dans l'intervalle. On peut employer aussi avec avantage son procédé de calcination en présence de la magnésie, décrit précédemment (p. 968).

Acide nitrique. — Pour le dosage de l'acide nitrique, on peut se servir du procédé fort simple de F. Jean. Dans un petit matras en verre, de 200 centimètres cubes environ, on introduit une solution concentrée et très acide de perchlorure de fer. Le matras est fermé par un bouchon de caoutchouc portant un tube de dégagement qui se rend sous un têt en plomb dans une cuve à eau doublée de plomb; le bouchon est muni

aussi d'un tube droit très court sur lequel est fixé, à l'aide d'un tube de caoutchouc, un petit entonnoir dont la communication avec le matras est interceptée par une pince de Mohr qui comprime le caoutchouc, ou par un robinet de verre. La cuve étant remplie d'eau, ainsi que la partie inférieure du tube à entonnoir comprise entre le robinet et l'extrémité effilée, on porte le protochlorure de fer à l'ébullition, et, dès que le bruit produit par la condensation de l'acide dans l'eau de la cuve annonce que le vide est fait dans le matras, on place sur l'orifice du têt une cloche à gaz remplie d'eau, et de la capacité de 200 centimètres cubes, graduée en dixièmes; puis on verse dans l'entonnoir 5 centimètres cubes d'une solution de nitrate de soude obtenue en dissolvant, dans un litre d'eau, 66 grammes de nitrate de soude pur et récemment fondu à basse température. Tout en maintenant la solution de protochlorure de fer à l'ébullition, on fait pénétrer dans le ballon, goutte à goutte et très lentement, pour éviter l'absorption, les 5 centimètres cubes de la solution nitrée, en desserrant la pince de Mohr ou ouvrant le robinet, et en ayant soin de vider complètement l'entonnoir. On ajoute ensuite 2 à 3 centimètres cubes d'eau distillée que l'on fait arriver également dans le ballon, et l'on rince l'entonnoir avec 5 ou 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique fumant. Le bioxyde d'azote produit par la décomposition du nitrate se rend dans la cloche graduée, et dès que le bruit annonçant que le vide est produit de nouveau dans le matras se fait entendre, on retire la cloche graduée et on l'abandonne dans la cuve sur un support. Cette première opération a pour but de faire connaître le volume de gaz produit par un poids connu de nitrate sans qu'il soit nécessaire de tenir compte des corrections relatives à la température, à la pression, etc.

On introduit alors dans le matras 5 centimètres cubes d'une solution du nitrate à essayer, obtenue en dissolvant 0 gr.,6 du sel, c'est-à-dire du résidu de l'évaporation d'une certaine quantité du liquide primitif, dans l'eau, de manière à former un volume de 100 centimètres cubes, et l'on opère la décomposition de la même manière que précédemment, en recueillant le bioxyde d'azote dans une deuxième cloche graduée. Quand les deux cloches sont arrivées sous l'eau à la même température, on en fait la lecture comparée avec les précautions ordinaires, et un calcul de proportion des volumes trouvés aux poids qui les ont produits donne la quantité de nitrate contenue dans le sel en question. L'appareil peut servir à plusieurs opérations consécutives.

L'équation de l'opération est la suivante (notation en équivalents) :



donc : 85 de NaO, AzO³ correspondent à 30 grammes de AzO² ou 22¹,338.

Lorsque l'on supprime l'essai témoin avec le nitrate pur, on doit se servir de la formule suivante pour la correction de la température et de la pression.

$$V' = V \frac{1}{1 + \alpha t} \times \frac{P' - f}{P}$$

V = Volume observé.

P' = Pression.

t = Température.

f = Tension de la vapeur à la température t.

α = Coefficient de dilatation du gaz = 0,00367.

P = Pression normale = 760 millimètres.

Pellet a dressé des tables indiquant ces corrections, et Salleron a construit un petit appareil dit correcteur *gazométrique*, ressemblant à une règle à calcul, et permettant de faire toutes les corrections désirables dans ce genre d'analyse en un tour de main.

Schlœsing et G. Ville ont indiqué un autre procédé moins simple pour arriver au même résultat.

Azote des matières organiques. — Ayant l'azote total, l'azote ammoniacal et l'azote nitrique, la différence donnera l'azote des matières organiques, dont la détermination directe est presque impossible dans ces conditions.

Acide phosphorique. — On évapore à siccité une certaine quantité, soit 1/10, de la liqueur primitive. On verse sur le résidu de l'alcool aiguisé de quelques gouttes d'acide nitrique, on filtre et l'on ajoute dans le liquide un léger excès d'acétate de plomb. Le phosphate de plomb se précipite. On en détermine le poids, et l'on en déduit celui de l'acide phosphorique. La liqueur ne doit pas contenir de silice.

Acide carbonique. — On le détermine directement sur un poids déterminé de la terre desséchée. Nous reviendrons à propos du calcaire et du noir sur les différentes méthodes recommandées à cet effet.

Acide sulfurique. — 1/10 de la solution primitive, légèrement acidulé par l'acide chlorhydrique, est additionné de chlorure de baryum. Le sulfate de baryte se précipite, on le pèse et l'on en déduit l'acide sulfurique.

Chlore. — On ajoute à 1/10 de la solution primitive quelques gouttes d'acide nitrique, et on précipite le chlore par le nitrate d'argent.

Silice. — On la détermine en calcinant le résultat de l'évaporation d'une certaine quantité du liquide, reprenant par l'acide chlorhydrique évaporant de nouveau à sec, reprenant encore par l'acide chlorhydrique concentré. On traite alors par l'eau, la silice est devenue insoluble et l'on peut la recueillir sur un filtre.

Chaux. — Dans le liquide filtré de l'opération précédente, on trouve la chaux, la magnésie, l'alumine, le fer, le manganèse et l'acide phosphorique.

Pour doser la chaux, on ajoute à la liqueur une certaine quantité d'ammoniaque; s'il se forme un précipité, on le redissout par une trace d'acide chlorhydrique, puis on ajoute un excès d'oxalate d'ammoniaque, et de l'acétate de soude. Il se forme un précipité d'oxalate de chaux qui demande douze heures avant que le dépôt se fasse complètement. Dans le cas où l'ammoniaque n'a donné aucun précipité, l'acétate de soude n'est pas nécessaire. L'oxalate de chaux est alors réuni sur un filtre, lavé, calciné, en brûlant le filtre d'abord dans une capsule de platine et le précipité ensuite, additionné d'un peu de carbonate d'ammoniaque, calciné de nouveau doucement, et enfin pesé à l'état de carbonate de chaux.

Magnésie. — Des liquides filtrés précédemment, on précipite la magnésie à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien. Pour cela les liquides précédents, additionnés des eaux de lavage et évaporés pour ne pas faire un trop grand volume, sont additionnés de chlorhydrate d'ammoniaque, puis d'un excès d'ammoniaque qui ne troublera pas la liqueur s'il y a assez de chlorhydrate; on mélange alors le tout avec un excès d'une solution de phosphate de soude, on agite fortement avec une baguette de verre *sans toucher les parois du vase* et on laisse déposer vingt-quatre heures la solution tiède; le précipité n'apparaît souvent que très lentement; on filtre, on lave le précipité sur le filtre, à plusieurs reprises, avec de l'eau ammoniacale; le précipité a la formule en équivalents : $(2\text{MgO AzH}'\text{O PhO}^5 + 12\text{Aq})$. On le calcine au moufle dans un creuset de platine en calcinant d'abord complètement le filtre, ce qui est assez long, car il faut le chauffer graduellement jusqu'au rouge vif et ajouter le précipité ensuite. On a soin de munir le creuset de son couvercle. La magnésie est alors sous la forme (2MgO PhO^5) .

Potasse. — Dans 1/10 de la solution primitive, on verse un excès d'acide chlorhydrique, et on évapore à siccité. On redissout dans une petite quantité d'eau, on y ajoute de l'eau de baryte et filtre après digestion, on verse du carbonate d'ammoniaque dans cette liqueur filtrée pour éliminer la chaux et la baryte, et la liqueur filtrée de nouveau ne contient plus que les chlorures de potassium et de sodium. On les pèse d'abord ensemble, en les évaporant à siccité doucement, puis plus fort vers la fin, mais sans provoquer la volatilisation. Alors on les redissout dans un peu d'eau, on ajoute un excès de bichlorure de platine, on évapore doucement presque à siccité, puis on reprend par l'alcool à 75 %, et laisse déposer quelques heures en agitant de temps en temps. Lorsque le précipité est bien rassemblé, on le recueille sur un filtre taré, on le lave complètement à l'alcool, on le dessèche à 110°, et on le pèse à l'état de chloroplatinate (KCl, PtCl⁴).

La soude s'obtient par différence.

TITRE II

ANALYSE DES ENGRAIS

L'étude des engrais est le complément de celle du sol. Si donc l'on reconnaît que, pour cultiver telle plante, il faut que le sol renferme telle et telle matière, étant analysé le sol qui doit produire la plante, on y ajoutera l'engrais qui complètera la somme nécessaire des substances reconnues utiles pour la culture en question. L'engrais devra donc contenir exactement les mêmes substances actives que le sol, condensées sous un petit volume; son analyse sera donc exactement la même en principe, la forme sous laquelle se présente cet engrais faisant seul différer le *modus operandi*. Dehérain classe les engrais en végétaux, animaux, mixtes, minéraux et chimiques. L'analyse, dans ces cinq classes d'engrais, tendra donc exclusivement à faire connaître la quantité de matière fertilisante de l'engrais suivant la récolte que l'on veut obtenir, soit, pour tous les cas, la quantité d'azote et de phosphate, et on recherchera en outre la potasse pour la betterave, la silice pour les froments, la chaux pour les fourrages, etc. On verra même si ces engrais ne contiennent pas de substances nuisibles à la culture pour laquelle on les emploie, et si les éléments sont bien dans le rapport voulu par la pratique et la théorie. Telles seront les recherches que la chimie sera appelée à effectuer sur tous les engrais, à quelque nature qu'ils appar-

tiennent. Les engrais végétaux et animaux, les engrais mixtes, et les composts présenteront, aussi bien que la terre arable, une grande difficulté dans la prise exacte d'échantillon. Le manque d'homogénéité de ces matières, la variété dans la constitution de toutes leurs parties, le volume parfois considérable que ces divers éléments présenteront encore après leur réunion, l'impossibilité même parfois de mélanger ces parcelles de nature différente, offrent une réelle difficulté, sans laquelle l'analyse d'un engrais serait aussi facile que celle d'une terre. C'est à l'opérateur de juger le meilleur mode de mise en pratique de tous les éléments que nous avons réunis dans l'analyse des terres.

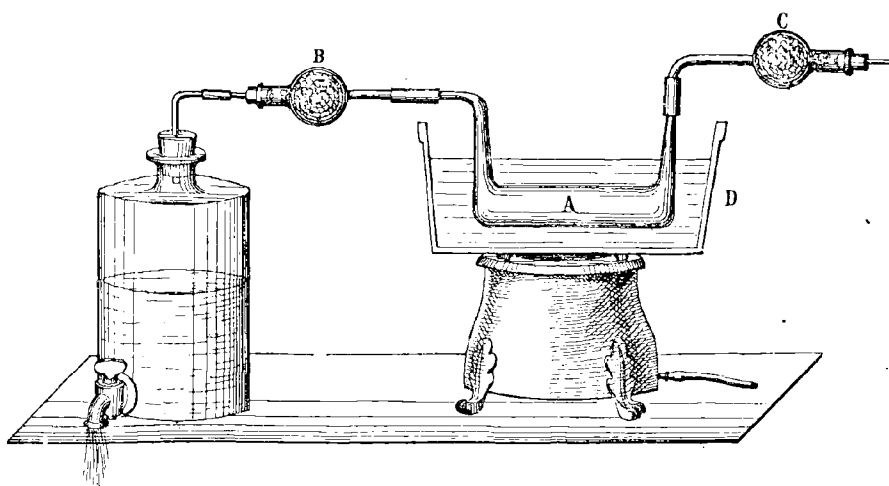


Fig. 497.

Humidité. — Certains engrais très hygrométriques présentent à la dessiccation une difficulté inhérente à leur rapide absorption de l'humidité. Cette dessiccation peut s'opérer dans un tube large A (fig. 197) terminé par deux parties plus étroites et remontant verticalement. L'une d'elles se recourbe ensuite horizontalement et s'adapte à un tube B rempli de potasse ou d'acide sulfurique et de pierre ponce. L'autre, par lequel on introduit l'engrais, s'ajuste au moyen de tubes en caoutchouc à un tube C rempli de chlorure de calcium. On pèse le tube vide, puis plein d'engrais; puis on ajuste l'appareil, et la partie du tube contenant l'engrais est placée dans un bain-marie D d'eau salée permettant d'élever la température de quelques degrés au-dessus de 100°. Enfin, l'appareil est traversé par un courant d'air, produit par une aspiration, marchant dans le sens de l'introduction de la matière. Le tube à acide sulfurique reçoit l'eau qui distille de l'engrais, le tube à chlorure de calcium retient celle de l'atmosphère. L'ensemble du système du tube

à engrais et du tube à acide sulfurique pesés ensemble, ne doit pas changer de poids pendant tout le temps de l'opération, en sorte que la différence de poids de l'un et de l'autre séparément est la même, et représente le poids de l'eau.

Dans le cas où la matière ne craint pas l'absorption de l'humidité, on opérera la dessiccation à l'étuve sur une quantité assez considérable, ce qui permet une prise d'échantillon plus régulière.

Azote. — Toutes les opérations successives se feront sur des matières absolument sèches, et dès lors, ordinairement, facilement pulvérisables; le dosage de l'azote se fera comme pour les matières organiques en général. Dans les engrais végétaux et animaux, on le rencontrera souvent à l'état ammoniacal, et l'analyse dans ce cas se fera comme nous l'avons vu précédemment. Il sera parfois à l'état de nitrate de potasse, et enfin surtout à l'état d'azote organisé. Il n'y a donc aucune différence entre l'analyse de ces matières et celles des terres.

Matières minérales et végétales. — On pourra procéder de suite à l'incinération, et avoir par différence les cendres et les matières organiques; mais cette méthode est entachée de l'erreur provenant de la volatilisation de l'ammoniaque et des chlorures. Il vaudra mieux opérer par lévigation directe de l'engrais ou de son charbon, comme nous avons fait pour la mélasse, à l'eau ou bien même à l'alcool et à l'éther si on suppose la présence des matières grasses. On se sert dans ces cas d'un appareil dit à déplacement à chaud ou à froid, ou digesteur.

L'appareil à déplacement à froid se compose d'une carafe dont le bouchon est remplacé par une allonge verticale dans laquelle on place le corps à lessiver. On couvre le corps et emplit l'allonge avec le liquide qui doit dissoudre les substances solubles, et ce liquide s'écoule lentement dans la carafe. On fait passer une ou plusieurs fois le liquide dans l'allonge, on lave ensuite avec du liquide neuf, à plusieurs reprises.

L'appareil à déplacement à chaud est formé d'un ballon A (fig. 198) tubulé surmonté d'une allonge B fermant hermétiquement le col du ballon. Dans l'allonge se trouve le corps à lessiver, et le liquide dans le ballon. On fait bouillir ce liquide, il distille et se condense dans l'allonge et dissout les corps solubles qu'il y rencontre. L'allonge est fermée par un bouchon à deux trous. L'un porte un tube vertical à boule C formant tube de sûreté pour que la pression de l'appareil soit la même intérieurement et extérieurement; le second trou reçoit un tube D reliant le haut de l'allonge avec le ballon, et à cet effet ce tube traverse la tubulure du ballon et pénètre jusque dans le sein du liquide

qu'il contient ; de la sorte si l'allonge est trop pleine de liquide, celui-ci retombe dans le ballon au moyen du tube ; si la pression est plus grande dans le ballon que dans l'allonge, le liquide monte par le tube dans le haut de l'allonge et arrose la matière à lessiver.

L'analyse continuera ensuite sur la partie liquide et la partie solide, par incinération, et on retombe sur la même série d'expériences que sur les terres.

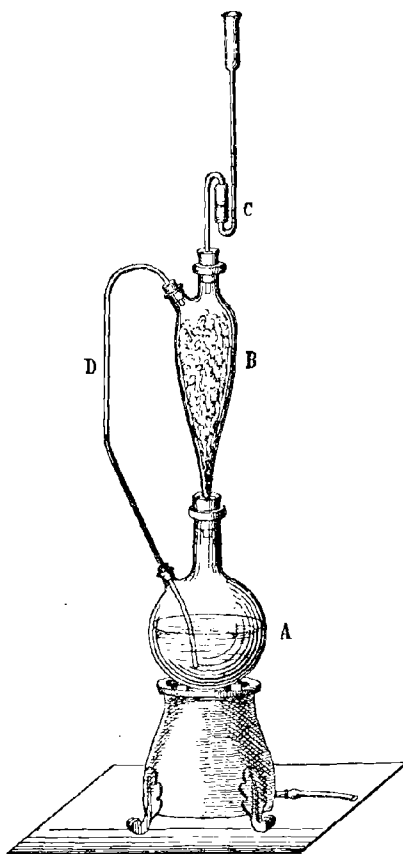


Fig. 198.

Quant aux engrais minéraux et chimiques, leur analyse repose sur les mêmes principes. Nous reviendrons d'ailleurs à propos du noir sur un exemple d'analyse de matières minérales phosphatées, la plus intéressante au point de vue de la culture. Cependant, dans le cas de mélanges de sels très différents, il peut se présenter quelques difficultés de séparation de corps, mais ces cas sortent de l'ordinaire et rentrent dans

le domaine de l'analyse chimique minérale qui est une science à part. Voir dans ces cas-là les livres spéciaux. L'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie de France, en 1886 et 1887, a étudié tout spécialement les méthodes de dosage de l'azote et de l'acide phosphorique, afin d'unifier ces méthodes d'analyse entre tous les adhérents à cette Société. Nous renvoyons au travail original publié dans le bulletin.

TITRE III

DU NOIR ANIMAL

§ 1. — Pouvoir épurant.

L'analyse du noir animal tend à deux buts, à reconnaître son pouvoir épurant et sa constitution chimique. Le pouvoir épurant du noir est de plusieurs espèces : il agit sur les matières azotées, sur les matières calciques et salines, et sur les matières colorantes. Leplay et Cuisinier ont prouvé que le noir peut avoir perdu tout pouvoir sur les premières, qu'il en a encore un considérable sur la coloration. Son pouvoir absorbant pour les couleurs est donc beaucoup moins important que pour la chaux et les matières organiques qui sont d'ailleurs ennemies bien plus directes de la fabrication que les matières colorantes.

Chaux. — L'action du noir sur les liqueurs calciques peut se constater de la manière suivante : étant donnée une solution de chaux titrée, constater la quantité de chaux enlevée à la liqueur en la titrant de nouveau. Corenwinder a décrit un procédé pratique pour cette détermination.

Ce procédé repose sur la propriété que possède le noir animal, d'enlever à une solution de saccharate de chaux une quantité de chaux variable suivant la qualité de ce noir, son état de division, etc.

On a constaté que le pouvoir absorbant du noir pour la chaux est dans le même rapport que son pouvoir décolorant, de telle sorte que le premier peut servir de mesure au second, seulement le second est beaucoup plus grand que le premier. Voici comment on opère. On commence par préparer une liqueur normale contenant 20 grammes d'acide sulfurique monohydraté par litre, puis une liqueur de saccharate de chaux saturant la première à volume égal. Lorsqu'on veut faire une

détermination, on prend 50 grammes du noir à essayer, et un décilitre de dissolution de saccharate ; on les met en contact pendant une heure à une température d'environ 15° et on agite plusieurs fois pendant cet intervalle. Ce temps écoulé, on filtre, on prend 50 centimètres cubes du liquide clair et l'on détermine à l'aide de la liqueur acide combien il faut de degrés de la burette alcalimétrique ordinaire pour en opérer la saturation. S'il en faut, par exemple, 40 divisions, on peut conclure que 60 divisions ont été absorbées et qu'il titre par conséquent 60°. Ce procédé offrira donc un moyen d'avoir un repère dans le cours de la fabrication, car le noir arrivant neuf dans la fabrique, et possédant son maximum d'action, perdra en qualité au fur et à mesure du travail, ce que le procédé permettra de constater, proportionnellement d'ailleurs à un noir type étalon.

Matières azotées et autres. — Un procédé analogue peut être employé pour déterminer le pouvoir absorbant du noir pour les matières azotées. Etant donnée une liqueur albumineuse titrée au moyen d'une solution tannique, comme nous l'avons fait pour l'analyse des jus de betterave, il sera aisé de voir combien un poids connu de noir aura absorbé de matière azotée après quelques filtrages successifs d'un certain volume de solution azotée que l'on titre ensuite.

D'ailleurs on pourra varier à l'infini ces expériences pour toutes les matières salines, sucrées et autres.

Coloration. — On essaie le pouvoir décolorant du noir sur une solution de caramel qui se comporte à peu près comme la matière colorante des jus. On pourrait opérer sur de l'indigo ou toute autre couleur, mais il est préférable de se rapprocher des conditions ordinaires du travail.

Ayant donc fait une liqueur colorée type normale, on mélange une partie mesurée de ce liquide avec un certain poids de noir type ; on filtre, on fait passer de nouveau sur le noir, jusqu'à ce que le liquide ne se décolore plus. Alors, au moyen d'un *colorimètre* quelconque on compare la coloration nouvelle avec l'ancienne, et on note le nombre de divisions que l'instrument indique. Puis on fait la même opération avec le noir que l'on veut essayer, on note le résultat donné par l'instrument, et la différence indique les pouvoirs décolorants des deux noirs. On peut aussi comparer plusieurs noirs entre eux et suivre l'état de celui que l'on emploie tout le temps de la fabrication.

§ 2. — Colorimètres.

Presque tous les colorimètres se basent sur l'aspect que présentent deux colonnes de liquide inégalement colorées, vues par un procédé quelconque par le même oculaire, et que l'on ramène à la même teinte en variant l'épaisseur. Tels sont les colorimètres Payen et Duboscq, les chromoscopes de Wentske, de Stammer, etc. C'est la différence des épaisseurs du liquide qui donne la différence inverse de coloration. Décrivons l'instrument de Duboscq (fig. 199 et 200) d'où sont dérivés presque tous les autres, et dont l'invention remonte à 1854.

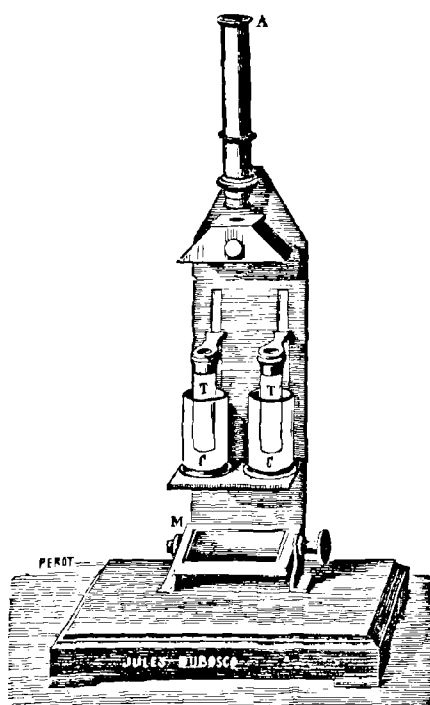


Fig. 199

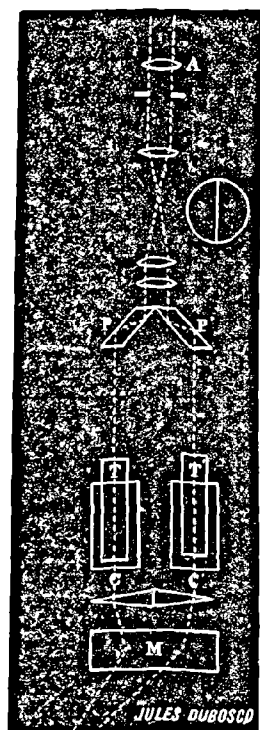


Fig. 200

Colorimètre Duboscq. — Il se compose essentiellement de deux tubes de verre CC placés verticalement et fermés à leur partie inférieure par une glace à faces parallèles. Ils sont fixés côte à côte par leur base sur une planchette horizontale percée de deux ouvertures égales à leur propre diamètre intérieur.

Parallèlement à ces deux vases une planchette verticale sert de support à tout le système, et est munie d'un pied. Dans chacun de ces vases

pénètre un tube TT de diamètre très inférieur aux premiers, de hauteur égale mais un peu plus grande que celle de ces vases mêmes, et fermés à leur partie inférieure par un fond de glace à faces parallèles. Ces tubes portent à leur partie supérieure une monture métallique qui leur sert de support et qui glisse dans deux fentes verticales ménagées dans le support. Elles se terminent derrière cette planchette par un index à vernier se déplaçant à droite et à gauche d'une échelle verticale commune, dont le zéro est dans le milieu. Au-dessus de ces deux tubes un

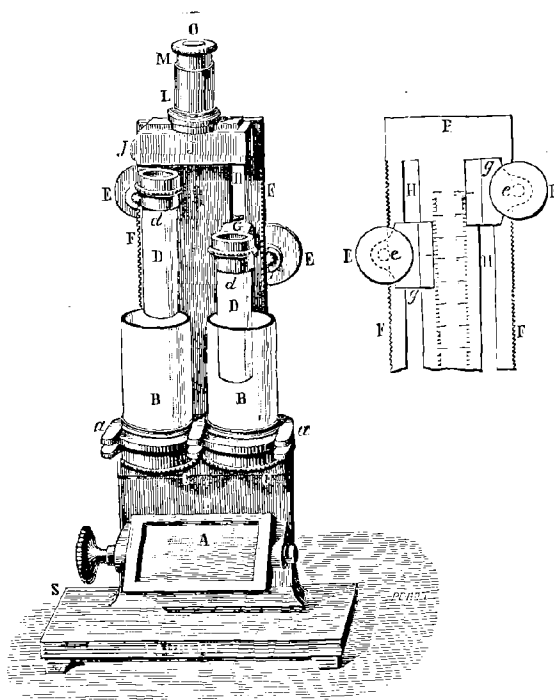


Fig. 201.

appareil d'optique PP' permet de rapprocher les deux rayons de lumière qui seraient projetés par un miroir réflecteur M placé en dessous du système de tubes, et traverserait ces tubes. Ces deux rayons de lumière reçus dans une lunette A présentent à l'œil de l'observateur leur égale intensité sous la forme de deux demi-disques séparés par un diamètre, comme dans le saccharimètre Laurent. Ceci posé, on introduit, dans l'un des vases à large diamètre, la liqueur normale de caramel, et dans l'autre celle qui a été décolorée. Les tubes de petit diamètre et mobiles qui sont vides plongent dans le liquide qu'ils déplacent, et présentent

au zéro la même épaisseur de ce liquide coloré entre leur base et celle du vase qui les entoure. En approchant l'œil de l'oculaire les deux demi-disques sont alors colorés diversement. En faisant jouer un petit engrenage qui monte et baisse les tubes et leurs verniers à volonté, on ramène les teintes à l'égalité, et la lecture de l'échelle donne la différence d'épaisseur des couches de liquide ayant la même teinte. Si l'une est deux fois plus grande que l'autre, par exemple, c'est que la première est deux fois moins colorée que la seconde.

On pourra donc juger par là de la différence sur le pouvoir décolorant de divers noirs.

La figure 201 représente le même appareil construit par Laurent. On voit sur le côté les mollettes EE qui font mouvoir les tubes DD au moyen de crémaillères FF. On voit aussi les verniers gg qui permettent de mesurer les différences de hauteur des deux tubes. La partie optique a été étudiée de façon à diminuer autant que possible les dimensions de l'appareil et le rendre plus maniable. Il en est de même du support des cuvettes BB, et de quelques autres petits détails de construction.

Citons encore le colorimètre Nugues qui ne diffère des précédents que par la partie optique. La lunette est à genouillère avec prismes intérieurs de renvoi des rayons lumineux disposés de telle façon que l'opérateur puisse examiner les différences de teintes commodément, assis ou debout, sans être obligé d'occuper la position fatigante qu'exigent les autres appareils.

Chromoscope. — Le chromoscope allemand se compose de deux tubes formant angle très aigu et ayant deux oculaires très rapprochés, en sorte que d'un seul coup d'œil, on voit les deux disques des deux lunettes. L'une porte un verre coloré servant de type de teinte, ou bien reçoit à son intérieur un tube rempli de liquide coloré type. L'autre muni d'un entonnoir de capacité suffisante, reçoit le liquide dont on mesure la coloration. Un tube intérieur, bouché pour un fond de glace et qui est mù par un pignon au dehors, se déplace dans l'intérieur parallèlement à l'axe à la manière d'un piston, et refoule au besoin le liquide dans l'entonnoir en diminuant la longueur de la colonne d'observation. Un vernier indique son déplacement. Au moyen de ce système on peut mesurer les différences d'épaisseur des liquides pour arriver à la coloration normale.

Colorimètre Salleron (fig. 202). — Salleron a modifié un colorimètre inventé par Houton-Labillardière, et qui est basé sur un autre principe. L'inventeur se basait sur ce que deux dissolutions formées avec des

poids égaux d'une même matière colorante dans des quantités égales d'eau, examinées comparativement sous la même épaisseur, présentent des nuances identiquement semblables ; tandis que les dissolutions faites avec des poids inégaux d'une même matière offrent des nuances dont l'intensité est proportionnelle à ces quantités.

Il en résulte que si dans une dissolution d'un corps, ayant une intensité de teinte plus forte que la dissolution du même corps prise pour type, on ajoute de l'eau jusqu'à ce que sa teinte revienne à celle du type, le volume de cette dissolution après addition d'eau pourra servir de mesure de l'intensité qu'elle avait primitivement. Si, par exemple, on

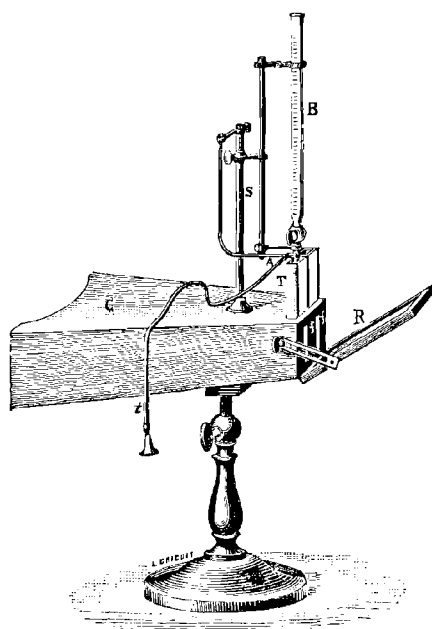


Fig. 202

a dû doubler le volume, c'est que l'intensité de la coloration était double de celle de la dissolution-type.

Ceci pose, le colorimètre (fig. 202) se compose d'une cuve en verre T formée de deux glaces séparées par trois cloisons en verre de même épaisseur. L'ensemble constitue donc deux tubes à faces parallèles fermés par le bas, et placés côte à côte. C'est dans ces tubes que l'on verse les deux dissolutions dont on veut comparer les colorations. Cette cuve à deux compartiments est alors mise dans un appareil composé d'une boîte C ayant la forme d'une pyramide tronquée fixée sur un sup-

port comme un stéréoscope. La cuve occupe le petit fond de cette boîte dans laquelle on regarde en appliquant le visage sur le bord le plus évasé, lequel est découpé à la forme du front, pour que l'on puisse faire ses observations sans être incommodé par la lumière extérieure. La lumière traverse les deux tubes au moyen de deux fentes pratiquées dans un diaphragme *ff* avec lequel est fermé le petit fond de la boîte, et qui se trouve par conséquent entre la lumière et la cuve. Enfin la lumière, pour être égale et pas trop vive, est reflétée sur une sorte de miroir opalin R.

En regardant le fond de la boîte on voit donc à travers les deux fentes les deux liquides colorés différemment.

Sur la boîte se trouve un support en cuivre S portant une burette graduée pleine d'eau B, et dans le liquide le plus coloré on fait pénétrer un petit tube de verre que l'on voit en A muni d'un tube en caoutchouc et d'une poire *t*. En pressant sur la poire on fait passer de l'air dans le liquide et on produit ainsi une agitation. Ceci posé, on verse de l'eau avec la burette dans le compartiment le plus coloré, jusqu'à ce que les deux fentes laissent passer la lumière avec la même coloration, agitant le liquide avec la poire en caoutchouc après chaque addition d'eau. Quand on juge que les deux colorations sont identiques, on lit sur la burette la quantité d'eau ajoutée. Connaissant le volume que l'on avait mis primitivement dans la cuve, la somme de ces deux quantités donne l'intensité de coloration de la liqueur.

Cette méthode est excessivement sensible. Ainsi dans un liquide contenant 2 gr. 03 de caramel par litre on a pu apprécier la quantité de caramel à 0 gr. 0012 près. Avec le bleu d'aniline l'approximation est beaucoup plus grande, car dans une dissolution de 0 gr. 01 par litre, l'approximation est de 0,000003. Enfin l'opération est des plus faciles à exécuter même par des personnes qui la font pour la première fois.

§ 3. — Composition chimique du noir.

On cherche à doser dans le noir le *charbon* et le phosphate de chaux. Ce sont les éléments les plus utiles à connaître dans le noir neuf, c'est-à-dire la somme du corps décolorant et le poids de sa carcasse.

Le noir étant livré épuisé à l'engrais, on recherche aussi sa teneur en *azote*. Enfin, on complète l'analyse par la connaissance de la quantité de *chaux*, de *magnésie*, de *silice*, d'*alumine* et d'*oxyde de fer* qu'il contient. De plus, on a intérêt à doser la quantité de *sulfate de chaux* que contient le noir, car, à la calcination, il se transforme en sulfite de chaux aux dépens du charbon du noir qui se brûle, ce qui diminue la

valeur du noir et ajoute une cause de dissolution de chaux dans les jus et sirops au lieu de l'éliminer. On peut rechercher aussi la quantité d'*acide carbonique* qu'il contient, la quantité de *sucres* qu'il a retenu, etc. Le tout forme une série d'opérations que nous allons décrire, et pour lesquelles nous renvoyons à l'*analyse des terres*, lorsqu'elles ne seront pas suffisamment expliquées ici.

Carbone. — Avant toute analyse, on commencera par dessécher le noir à 110° et n'opérer que sur un certain poids de *noir sec*.

L'opération du dosage du carbone, lorsqu'il s'agit d'un essai commercial sur un noir neuf, peut se faire d'une manière expéditive en calcinant au rouge un poids de noir sec jusqu'à ce qu'il devienne blanc, ayant perdu tout son carbone. On humecte alors avec un peu de carbonate d'ammoniaque, comme on fait toujours lorsqu'on a affaire à un carbonate de chaux, on calcine de nouveau faiblement pour chasser l'excès de carbonate d'ammoniaque et l'on pèse. La différence de poids donnera celui du *carbone*. Il est vrai qu'on aura perdu aussi une certaine quantité de matière azotée, certains éléments décomposables et volatiles, tels que le chlore, le soufre, etc.; mais l'erreur, dans ce cas, n'est pas assez considérable pour changer sensiblement le résultat.

Dans le cas d'une analyse plus exacte, on opère ainsi : on commence par laver un certain poids de noir sec avec une solution étendue d'acide chlorhydrique ; du gaz carbonique, de l'acide sulfhydrique se dégagent. On lave alors à grande eau pour dissoudre les chlorures formés et les sels solubles préexistants, on dessèche et l'on pèse. C'est ce résidu insoluble que l'on calcine dans un creuset avec le filtre sur lequel on l'a recueilli, en commençant par calciner le filtre dont on a détaché, au préalable, le charbon sec. Le résidu étant bien blanc, on le pèse, et la différence avec le poids du charbon lavé donne celui du carbone réel contenu dans le charbon primitif.

Matières organiques. — Dans le cas d'un vieux noir, ou bien d'un noir non lavé ayant déjà servi, la calcination pure et simple du noir donnera la somme du carbone et des matières organiques telles que sucre, sels organiques, matières azotées absorbées. Si de ce poids total on déduit celui du carbone obtenu par l'analyse complète, celui du sucre que nous allons rechercher de suite, on aura sensiblement celui des différentes matières organiques contenues dans le noir.

Sucres. — Le sucre s'obtient du noir en l'extrayant par lévigation du noir humide dont on a déterminé l'humidité d'avance, et que l'on a

pulvérisé finement. La détermination du sucre se fait comme nous l'avons vu précédemment dans les matières peu riches en cette substance.

Phosphate de chaux. — Veut-on déterminer l'acide phosphorique seul, on opère comme il suit :

On lave à l'eau un certain poids de noir pour dissoudre les sels solubles, puis on traite ce noir par l'acide nitrique pur dans lequel il se dissout. On sature l'acide en excès par l'ammoniaque, jusqu'à apparence d'un léger précipité que l'on dissout avec quelques gouttes d'acide acétique. Il est bon alors de filtrer, en lavant ensuite le filtre convenablement. On précipite ensuite l'acide phosphorique par l'acétate de plomb en excès. Le précipité est lavé, séché, détaché du filtre et calciné, en commençant par le filtre, dans les capsules en porcelaine : 100 de phosphate de plomb correspondent à 43,85 de phosphate de chaux des os.

Bobierre a imaginé une liqueur plombique titrée pour doser l'acide phosphorique. Cette liqueur se compose de 62 gr.14 d'acétate de plomb cristallisé dissous dans l'eau distillée et formant 1 litre. A cet effet, on triture 62 gr.,14 d'acétate dans un mortier de verre ou de porcelaine avec addition d'eau successive jusqu'à dissolution du sel employé. La dissolution s'achève par l'agitation dans la carafe graduée où s'opère le mesurage du liquide, que l'on verse *sans filtrer* dans un flacon bouché à l'émeri : 50 centimètres cubes de cette liqueur décomposeront 1 gramme de phosphate de chaux des os (PhO^3CaO). Ceci posé, la solution du noir étant préparée comme précédemment, saturée par l'ammoniaque en léger excès, et le léger précipité formé redissous, on verse au moyen d'une burette graduée la liqueur titrée. Pour s'assurer de la fin de l'opération, on utilise la propriété que possèdent les sels de plomb de colorer en jaune franc la solution d'iodure de potassium. Aussitôt que l'on s'apercevra qu'une goutte d'iodure placée sur un verre se colore en jaune légèrement par addition d'une goutte du liquide prise à la surface, c'est que l'opération touche à sa fin. Alors, on ajoute dans la liqueur phosphatée les $\frac{2}{3}$ de son volume d'alcool, et l'excès de sel plombique s'aperçoit alors beaucoup plus nettement.

Sulfate de chaux. — Pour déterminer le sulfate de chaux contenu dans le noir, on emploiera 10 grammes de ce noir sec bien pulvérisé, et on les traitera par un excès d'acide chlorhydrique pur bouillant. On filtre, on lave le résidu, et l'on précipite dans le liquide l'acide sulfurique par le chlorure de baryum. On laisse reposer le précipité 24 heures, on

décante, lave à l'eau bouillante, filtre et incinère en commençant par le filtre.

Sulfures. — Si l'on s'aperçoit que le noir contient des sulfures, on l'additionnera de salpêtre et le chauffera au rouge. Les sulfures se changeront en sulfates que l'on dosera comme précédemment. Retranchant le poids du sulfate de chaux trouvé précédemment, on aura les sulfures seuls.

Acide carbonique. — Le dosage de l'acide carbonique peut se faire de deux manières : en pesant le noir avant et après l'action d'un acide qui aura fait dégager le gaz, la différence donnera le poids de l'acide carbonique, ou bien on mesurera la quantité de gaz dégagé au moyen d'appareils spéciaux.

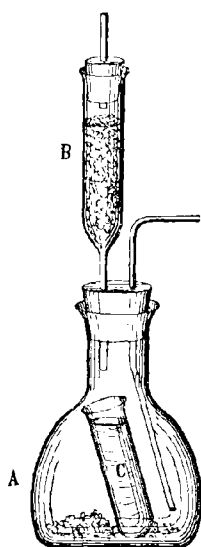


Fig. 203.

Le dosage par pesée du gaz carbonique se fait au moyen de petits appareils de verre que l'on pèse tout entiers dans la balance. Le plus simple de tous consiste (fig. 203) en un petit ballon de verre A muni d'un bouchon de liège et surmonté d'un tube B s'élargissant en forme d'entonnoir, contenant de la ponce imbibée d'acide sulfurique. Dans le petit ballon, on introduit le noir pulvérisé et pesé ainsi qu'un petit tube C bouché par une extrémité contenant de l'acide. On pèse ainsi l'appareil. Alors on le renverse doucement pour faire tomber l'acide du tube dans la fiole. Une effervescence se produit, on agite pour activer le départ du gaz et compléter l'opération; le gaz sort de l'appareil en traversant

le tube qui retient sur sa ponce l'humidité entraînée. Quand le dégagement est terminé, au moyen d'un second tube plongeant dans la fiole et tenu bouché tout le temps de l'opération, on provoque une insufflation pour chasser le gaz carbonique contenu dans la fiole, ou une aspiration par le bouchon du tube B, et on repèse l'appareil. La différence donne le poids de gaz carbonique. Dans certains cas, l'application d'une légère chaleur, en plaçant la fiole dans le bain-marie, est nécessaire, pour chasser le gaz dissous dans le liquide. Nous décrirons d'autres appareils à propos de la chaux.

CALCIMÈTRES

Le dosage par volume du gaz a été simplifié par l'emploi de l'appareil du D^r Scheibler, appelé *calcimètre*. La difficulté dans le maniement de l'acide carbonique est sa solubilité dans les liquides. Le D^r Scheibler a heureusement tourné la difficulté en employant un dispositif qui rappelle celui adopté dans les expériences de Delaroché et Bérard, c'est-à-dire en recueillant l'acide carbonique dans un ballon en caoutchouc qui s'enfle à l'intérieur d'un flacon K (fig. 204), et déplace, dès lors, un volume d'air égal au sien. C'est donc le volume d'air déplacé que l'on constate et que l'on mesure. L'appareil producteur d'acide carbonique est le même que précédemment. C'est une fiole A dans laquelle on introduit le noir, ainsi qu'un tube S rempli d'acide. Cette fiole est surmontée d'un tube en caoutchouc r terminé par le ballon R en caoutchouc. Avant de fermer définitivement la fiole on a eu soin, par une aspiration, d'aplatir autant que possible le ballon. Ce ballon est contenu dans une fiole K tritubulée ou fermée par un bouchon à trois trous dans laquelle pénètre le tube en caoutchouc. Le bouchon porte également un tube, auxquels s'assujettit un bout du tuyau en caoutchouc fermé au moyen d'une pince. L'autre tubulure, ou le troisième trou du bouchon, communique avec l'appareil mesureur du volume d'air déplacé par le ballon, lorsqu'il se gonflera par suite du dégagement du gaz carbonique dans la fiole A. L'appareil mesureur, imité du pyromètre à air de Pouillet, se compose d'un tube vertical gradué C, communiquant par son sommet avec la fiole tritubulée K au moyen d'un tube u . Ce tube C est rempli d'eau jusqu'au zéro, qui se trouve au sommet. Lors-

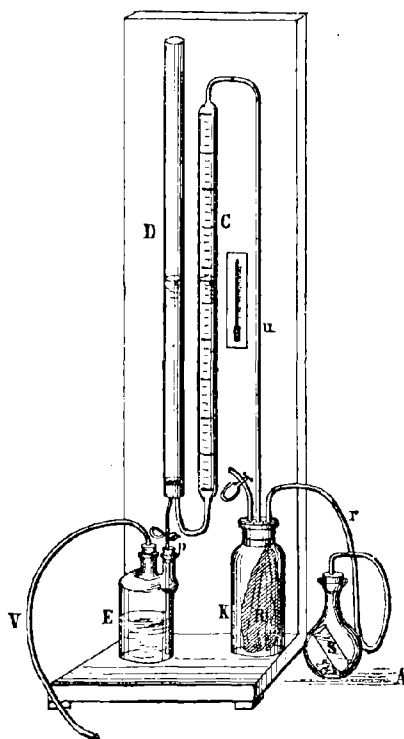


Fig. 204.

du tuyau en caoutchouc fermé au moyen d'une pince. L'autre tubulure, ou le troisième trou du bouchon, communique avec l'appareil mesureur du volume d'air déplacé par le ballon, lorsqu'il se gonflera par suite du dégagement du gaz carbonique dans la fiole A. L'appareil mesureur, imité du pyromètre à air de Pouillet, se compose d'un tube vertical gradué C, communiquant par son sommet avec la fiole tritubulée K au moyen d'un tube u . Ce tube C est rempli d'eau jusqu'au zéro, qui se trouve au sommet. Lors-

que le gaz se dégage, le ballon se gonfle, l'air déplacé chasse l'eau, et lorsque le dégagement cesse, une simple lecture indique le volume cherché. L'eau chassée se rend par un tube en U placé à la partie inférieure du tube C dans un autre tube D, par la partie inférieure aussi, et forme avec lui un vase communiquant. Pour faire une lecture sur le tube C, il faudra donc rétablir le niveau dans les deux tubes, car si l'air comprime l'eau en C, il la fait monter en D. Pour effectuer cette évacuation, le tube D porte à sa partie inférieure un tube en caoutchouc muni d'une pince p que l'on ouvre doucement, et ce n'est que quand les deux niveaux sont bien sur la même horizontale que l'on fait la lecture. Le tube portant la pince p s'adapte sur un tube de verre qui pénètre par le bouchon jusqu'au fond d'un vase tubulé E. C'est dans ce vase que l'on recueille l'eau d'évacuation. Ce flacon tubulé porte aussi dans son second bouchon un tube prolongé par un tuyau en caoutchouc V. Cette disposition permet, après l'opération et la lecture, de faire remonter l'eau dans l'ensemble des deux tubes en soufflant par le tube V.

Pour faire une lecture, il faut tenir compte de la température ambiante, de la pression barométrique, etc., selon les lois de la physique. Scheibler a construit une table donnant les volumes réels correspondant à chaque température pour chaque degré de son échelle; mais il néglige à tort les différences barométriques (p. 1029). D'ailleurs on pourra arriver à un volume exact par la formule :

$$V_n = \frac{V \times (H - f)}{760 (1 + 0,00367 t)}$$

dans laquelle V_n est le volume cherché du gaz supposé sec à la température et sous la pression normales, V le volume observé sous la pression barométrique H et à la température t , f la tension de la vapeur d'eau en millimètres de mercure pour la température t .

Le poids p du gaz mesuré est alors, si l'on représente par P le poids du litre de ce gaz :

$$p = V_n \frac{P}{1000}$$

P est égal à $1^{\text{sc}},9658$ pour l'acide carbonique.

Maumené a modifié cet appareil sous le nom de *gazhydromètre*. Il produit l'acide carbonique de la même manière, le reçoit de même dans une vessie; seulement cette vessie est renfermée dans un vase de cuivre ayant à peu près la même capacité qu'elle, plein d'eau, placé horizontalement, et c'est par le volume de liquide que le gaz entrant dans la vessie fait sortir du vase de cuivre par un ajutage spécial, que l'on reconnaît le volume de gaz dégagé. La manœuvre de l'appareil est

plus simple, quant au mode de faire la lecture, mais peut-être plus complexe dans les préparatifs. Maumené, comme le D^r Scheibler, ne tient pas compte de la pression atmosphérique dont les écarts donnent une différence de 1,3 0/0 en plus ou en moins, au maximum, dans les lectures de volume, ce qui est négligeable dans la majorité des cas, en fabrique du moins ; quant à la température, pourvu que l'on opère entre 13° et 17°, conditions généralement faciles à remplir, les résultats seront suffisamment approximatifs.

Il est évident que l'un et l'autre appareil peuvent servir au dosage des gaz dégagés dans toute espèce de conditions, en sorte que leur usage est indiqué dans toute analyse reposant sur un dégagement gazeux, calcaires, noirs, boues de carbonatation, essais de charbons, etc. Maumené étend à beaucoup d'autres essais l'usage de ces appareils. Exemples :

10 grammes de carbon. de potasse pur	dégagent	1729 cent. cubes de gaz
10 — — soude (cristaux)	—	834 —
10 — — — anhydre	—	2250 —
10 — — chaux	—	2386 —
10 — — plomb (céruse)	—	895 —
10 grammes de bicarbonate de soude	—	2840 —
10 — — — potasse	—	2386 —
10 cent. cubes ou 18 ^{sr} ,45 d'acide sulfurique	—	4499 cc. de CO ² d'un carb. en excès.
10 — — 15 ^{sr} ,88 — azotique	—	2897 —
10 — — 12 ^{sr} ,00 — chlorhydrique	—	1584 —
10 — — 10 ^{sr} ,64 — acétique	—	2119 —
10 grammes de fer	—	4277 cc. d'hydrogène avec un acide.
10 — — Bioxyde de manganèse	—	745 cc. d'oxygène (calcination).
10 — — chlorate de potasse	—	2892 — etc.

On voit, par ces quelques exemples, quel profit on peut tirer de ce genre d'appareil pour constater le degré de pureté de tous les corps dont on fait usage en fabrique, concentration des acides, etc.

Le calcimètre de Scheibler et celui de Maumené ont l'inconvénient de nécessiter un organe fragile, le ballon en caoutchouc qui au bout d'un certain temps se détériore et doit être changé. Dans les usines éloignées des centres un pareil accident rend inactif l'appareil pendant longtemps.

Salleron l'a modifié de manière à supprimer le ballon de caoutchouc (fig. 205).

Il se compose d'un tube en U comme celui de Scheibler, dont une seule branche B est graduée. La partie courbe inférieure du tube porte

un ajutage à robinet P sur lequel s'ajuste un tuyau en caoutchouc communiquant avec un vase G plein d'eau, et tubulé par le bas.

A côté du tube gradué B, se trouve parallèlement un tube A terminé par une grosse boule. Ce tube est rejoint au haut du tube B par un tube coudé portant un robinet R. Enfin, la grosse boule se rattache par un tube en caoutchouc T à une bouteille à large goulot F portant un bon bouchon.

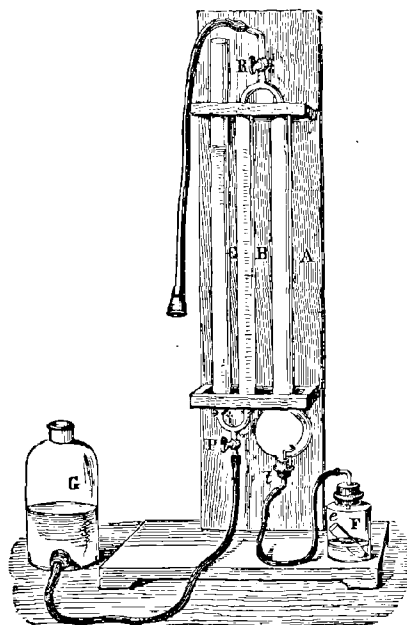


Fig. 208.

Ceci posé, on remplit le flacon G d'eau ordinaire, on ouvre les robinets P et R, et on élève le flacon G pour remplir d'eau les tubes B et C jusqu'au point 0 du tube B. On ferme alors le robinet P.

On pèse alors 0^{gr},34 du calcaire à essayer, ou ses multiples pour des substances contenant moins de carbonate de chaux, le poids normal étant de 1^{gr},7. On l'introduit dans le flacon F; puis on y introduit aussi un petit tube ouvert e contenant 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique. On ferme bien le bouchon, puis le robinet R, et l'expérience est prête à commencer.

On incline le flacon F, l'acide se répand sur le calcaire, le gaz carbonique se dégage et s'emmagine dans la boule du tube A, chassant devant lui l'air qu'elle contient, abaissant le niveau de l'eau dans le tube B et le faisant remonter en C. On voit que le gaz carbonique étant plus lourd que l'air restera dans la boule et sera surmonté de tout l'air déplacé qui empêchera sa dissolution dans l'eau du tube B.

Ceci fait, on ouvre avec précaution le robinet P, de manière à rétablir le niveau dans les tubes B et C et la division donne, par l'intermédiaire de la table ci-jointe, la teneur en acide carbonique du calcaire.

Le poids de 1^{gr},7 a été adopté parce que c'est le chiffre de Scheibler. Si l'on pèse 0^{gr},34 on devra multiplier le résultat par 5, puisque $0,34 \times 5 = 1,7$. Pour les écumes, par exemple, on pèsera 0^{gr},85 et on multipliera le résultat par 2. Enfin pour toute substance contenant moins de 25 % de carbonate, comme le noir par exemple, on pèsera 1^{gr},7.

TABLEAU POUR LES CALCIMÈTRES DE SCHEIBLER ET DE SALLERON

VOLUME OBSERVÉ	TEMPÉRATURE CENTIGRADE																		
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.77	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76	0.75	0.74	0.74	0.74	0.73	0.73
2	1.88	1.87	1.86	1.86	1.85	1.84	1.83	1.82	1.81	1.80	1.79	1.79	1.78	1.77	1.76	1.75	1.74	1.73	1.72
3	2.95	2.94	2.92	2.91	2.90	2.89	2.87	2.86	2.85	2.83	2.82	2.80	2.78	2.77	2.74	2.74	2.72	2.72	2.71
4	4.01	4.00	3.98	3.98	3.94	3.93	3.91	3.89	3.87	3.85	3.83	3.81	3.79	3.77	3.75	3.71	3.70	3.68	3.68
5	5.07	5.05	5.03	5.00	4.98	4.96	4.94	4.91	4.89	4.86	4.84	4.81	4.79	4.76	4.74	4.69	4.67	4.65	4.65
6	6.11	6.09	6.06	6.03	6.01	5.98	5.95	5.92	5.89	5.86	5.83	5.81	5.78	5.75	5.71	5.65	5.63	5.61	5.61
7	7.14	7.12	7.09	7.07	7.02	6.99	6.96	6.92	6.89	6.86	6.82	6.79	6.75	6.72	6.68	6.61	6.58	6.56	6.56
8	8.17	8.14	8.11	8.07	8.03	8.00	7.96	7.92	7.88	7.84	7.80	7.76	7.72	7.68	7.64	7.56	7.53	7.49	7.49
9	9.19	9.16	9.12	9.07	9.03	8.99	8.95	8.90	8.86	8.82	8.77	8.73	8.68	8.64	8.59	8.50	8.46	8.42	8.42
10	10.20	10.16	10.12	10.07	10.02	9.98	9.93	9.88	9.83	9.79	9.73	9.68	9.63	9.58	9.53	9.45	9.39	9.34	9.34
11	11.20	11.15	11.10	11.05	11.00	10.95	10.89	10.84	10.79	10.74	10.68	10.63	10.57	10.52	10.46	10.41	10.35	10.30	10.25
12	12.20	12.15	12.09	12.03	11.98	11.92	11.87	11.81	11.75	11.69	11.64	11.58	11.52	11.46	11.40	11.33	11.27	11.22	11.16
13	13.20	13.14	13.08	13.02	12.96	12.90	12.84	12.78	12.72	12.65	12.59	12.53	12.46	12.40	12.33	12.26	12.20	12.14	12.07
14	14.20	14.14	14.07	14.01	13.94	13.88	13.81	13.75	13.68	13.61	13.54	13.48	13.41	13.34	13.26	13.19	13.12	13.05	12.99
15	15.20	15.13	15.06	14.99	14.92	14.85	14.78	14.71	14.64	14.57	14.50	14.42	14.35	14.27	14.20	14.12	14.04	13.97	13.90
16	16.20	16.13	16.05	15.98	15.91	15.83	15.75	15.68	15.61	15.53	15.45	15.37	15.29	15.21	15.13	15.05	14.97	14.89	14.81
17	17.20	17.12	17.04	16.97	16.89	16.81	16.73	16.66	16.57	16.49	16.41	16.32	16.24	16.15	16.07	15.98	15.89	15.81	15.72
18	18.20	18.14	18.03	17.95	17.87	17.79	17.70	17.62	17.53	17.45	17.36	17.27	17.18	17.09	17.00	16.91	16.82	16.73	16.63
19	19.20	19.11	19.03	18.94	18.85	18.76	18.67	18.59	18.50	18.40	18.31	18.22	18.13	18.03	17.94	17.84	17.74	17.64	17.55
20	20.20	20.11	20.02	19.93	19.83	19.74	19.65	19.55	19.46	19.36	19.27	19.17	19.07	18.97	18.87	18.77	18.66	18.56	18.46
21	21.20	21.10	21.01	20.91	20.81	20.72	20.62	20.52	20.42	20.32	20.22	20.12	20.01	19.91	19.80	19.70	19.59	19.48	19.37
22	22.20	22.10	22.00	21.90	21.80	21.70	21.59	21.49	21.39	21.28	21.17	21.07	20.96	20.85	20.74	20.63	20.51	20.40	20.28
23	23.20	23.09	22.99	22.88	22.78	22.67	22.56	22.46	22.35	22.24	22.13	22.02	21.90	21.79	21.67	21.55	21.44	21.31	21.20
24	24.20	24.09	23.98	23.87	23.76	23.65	23.54	23.43	23.31	23.20	23.08	22.97	22.85	22.73	22.61	22.48	22.36	22.23	22.11
25	25.20	25.10	24.97	24.86	24.74	24.63	24.51	24.39	24.28	24.16	24.04	23.91	23.79	23.67	23.54	23.41	23.28	23.15	23.02

OBSERVATIONS. — Lorsqu'on lit sur le calcimètre 15 div. 6 par exemple à + 17°, on cherche dans la 1^{re} colonne du tableau, volume observé, le nombre 15, puis horizontalement on suit jusqu'à la colonne correspondante à 17° et on trouve 14.85; pour le chiffre 6, on cherche 1^{re} colonne le nombre 6, et de même on suit jusqu'à la colonne 17° on a 5.98; mais comme ce chiffre correspond aux grandes divisions, on divise par 10 pour avoir la quantité de carbonate de chaux donnée par 0.6 et on a en somme 14.85 + 0.598 = 15.448 du carbonate de chaux pour 15 div. 6 observées à 17°.

La division du calcimètre Salleron est la même que celle de Scheibler, 1 division = 0^{cc},4. De la sorte les tables des deux calcimètres sont les mêmes.

On peut simplifier l'appareil en mettant directement le tube *t* du flacon F en connexion avec le tuyau B, et supprimant le tube A. Dans ce cas, au lieu d'eau, on emploie de la glycérine à 25 dans le vase G, la glycérine ne dissolvant pas l'acide carbonique. De plus, cela à l'avantage d'avoir un appareil insensible à la gelée.

Quant à la prise de la température, au lieu de la lire sur un thermomètre quelconque donnant la température ambiante, il vaut mieux avoir celle existant dans le flacon F. Dans ce cas on entre un thermomètre dans son bouchon, et l'on a ainsi la température exacte du gaz.

De nombreuses expériences ont montré qu'en opérant sur du carbonate de chaux pur, l'erreur ne dépassait pas, avec l'appareil Salleron, 1/4 à 1/2 pour cent de carbonate.

§ 4. — Résumé de l'analyse.

Nous avons ainsi presque tous les éléments nécessaires pour faire l'analyse complète d'un noir. Nous la résumons en suivant les indications de Bobierre :

Le noir sera desséché à 103°, pulvérisé, puis desséché de nouveau; 1 gramme de ce noir est incinéré, avec addition de carbonate d'ammoniac, vers la fin de l'opération, pour transformer en carbonate la chaux qui pourrait être vivifiée. On pèse : la différence donne le *charbon + la matière organique*.

La cendre est additionnée d'eau distillée et chauffée; on filtre, on lave. Incinération du filtre avec les cendres. On pèse : la différence donne les *sels solubles*.

Le résidu insoluble est dissous à chaud dans l'acide azotique, filtration, lévigation, incinération. On pèse : le poids des matières restées sur filtre est celui de *la silice* et d'une partie de *l'alumine*.

Le liquide filtré est neutralisé par l'ammoniac.

Dosage de *l'acide phosphorique* par la liqueur tirée d'acétate de plomb, et contrôlé par la pesée du phosphate de plomb.

Le liquide filtré, séparé du phosphate de plomb, est débarrassé de l'excès de plomb par un courant d'hydrogène sulfuré, après addition de quelques gouttes d'acide azotique : filtrer, laver.

Le liquide filtré est additionné d'un excès d'ammoniac qui précipite *l'alumine* et *l'oxyde de fer*.

Le liquide filtré est additionné d'oxalate d'ammoniac; il se préci-

pite de l'*oxalate de chaux* (calcination, pesage à l'état de carbonate de chaux).

Le liquide filtré ne contient plus que la *magnésie*.

Dosage de l'azote. Dans un tube de fer (fig. 206) bouché par un bout, on introduit une couche d'acide oxalique A mêlé de chaux sodée, puis 1 gramme de matière à analyser mélangée à de la chaux sodée B, puis une couche de chaux sodée C, puis un tampon d'amiante D. Le tout est mis sur la grille à analyser. La partie du tube sortant de la grille, E, assez longue, porte une éponge toujours mouillée. Le tube se termine par un bouchon de liège muni d'un tube recourbé F plongeant dans un vase G.

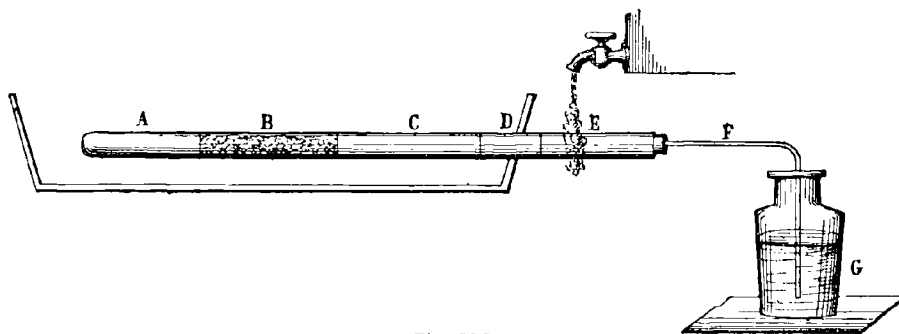


Fig., 206.

Ce vase renferme 10 centimètres cubes de liqueur normale sulfurique, contenant 61^{sr},250 d'acide bouilli au litre; 10 centimètres cubes correspondent à 2,12 d'ammoniaque ou 1,75 d'azote.

L'appareil étant ainsi construit, on chauffe d'abord la partie C où se trouve la chaux sodée seule, puis la partie B qui contient la matière, enfin, quand tout dégagement d'ammoniaque a cessé, on chauffe en A l'acide oxalique qui fait un dégagement d'hydrogène qui lave le tube.

Le titrage de l'acide sulfurique après l'opération donne la quantité d'azote du noir.

TITRE IV

DE LA CHAUX

La chaux se fait avec la pierre à chaux, ou calcaire, que l'on soumet à une chaleur rouge soutenue. Si l'on avait affaire à du carbonate de chaux pur, l'acide carbonique se dégagerait et il resterait de la chaux pure. Or, le calcaire que l'on emploie est rarement pur et contient, outre

l'humidité, des matières organiques, divers carbonates parfois plus difficiles à décomposer que le carbonate de chaux, diverses bases métalliques, fer, magnésie, alumine, des phosphates, des sulfates, des sels solubles, de la silice, enfin des cailloux en rognons plus ou moins gros. Donc, après la cuisson, la chaux contiendra des matières insolubles plus ou moins volumineuses, souillant de leur présence la pureté de la matière, parfois lui étant mélangées intimement, et d'autres séparables par un criblage, sans compter les portions de carbonate de chaux mal cuites, ou *incuits*, qui resteront aussi sur le tamis. Nous avons donc intérêt à analyser d'abord le carbonate de chaux pour connaître la qualité de la chaux qui peut en provenir et juger si elle est convenable aux usages de la fabrication, et ensuite d'analyser la chaux elle-même, analyse qui nous indiquera si la cuisson est régulière.

§ 1. — Pierre à chaux.

Le premier élément que l'on dosera dans les calcaires sera l'acide carbonique. Nous avons vu précédemment, à l'article analyse du noir, des appareils pour doser l'acide carbonique par poids et par volume. Nous

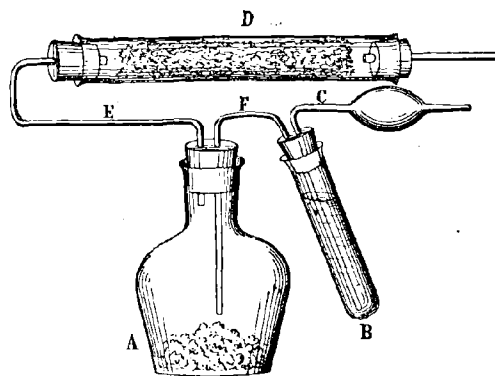


Fig. 207.

n'avons cité, à dessein, qu'un seul appareil à pesée, quoiqu'il en existe beaucoup d'autres. Un des plus anciens, dû à Berzélius, et des plus commodes est le suivant (fig. 207) : A est une petite fiole, dans laquelle on introduit la matière à analyser ; B un tube contenant de l'acide ; D un tube rempli de ponce et d'acide sulfurique. Un fil de cuivre permet de l'accrocher dans la balance. Voici le jeu de cet appareil :

Le tube F, qui réunit le tube B et la fiole A, plonge au fond de B et

s'arrête à la moitié de la hauteur de A. Le tube C arrive à la partie supérieure de B, et le tube E à la partie supérieure de A. En soufflant en C, on fait passer l'acide, en partie seulement, de B en A. Le gaz se dégage par E, étant retenu dans B par une petite couche d'acide. Quand tout dégagement a cessé, même après forte agitation, on aspire en C pour chasser l'atmosphère carbonique.

Tous les autres appareils se rapprochent plus ou moins heureusement de ces deux systèmes.

Le reste de l'analyse n'offre rien de particulier, et suivra exactement les mêmes phases que l'analyse du noir que nous avons décrite précédemment.

Le sulfate de chaux se retrouvera dans les sels solubles, si la solution a été suffisamment étendue.

REMARQUES. — On compte que 1 kilogramme de craie pure donne environ 224 litres ou 440 grammes d'acide carbonique.

La pierre à chaux ne doit contenir que peu ou pas de sulfate, car, non seulement il fait des incrustations dans les chaudières, mais, retenu sur les filtres à noir, il se change à la revivification en sulfure, donnant plus tard un dégagement d'hydrogène sulfuré dans les chaudières, et en oxygène qui brûle le noir.

La pierre à chaux, au moment d'être employée dans les fours, ne doit pas contenir plus de 10 % d'humidité, car cette humidité devra être évaporée aux dépens de la chaleur du four, chaleur dès lors perdue.

§ 2. — Chaux

La chaux présente un mode d'analyse fort convenable pour le cas qui nous occupe. On fera une solution de sucre assez étendue; on y fera dissoudre la chaux que l'on veut analyser, on versera sur un filtre, et l'on dosera dans le liquide calco-sucré la chaux y contenue. On aura ainsi la quantité exacte de chaux assimilable au sucre, ce qui est, dans tous les cas, le point capital de la fabrication. D'ailleurs, en lavant bien la partie restée sur le filtre, on pourra doser en même temps le poids de la matière insoluble. Cependant des analyses spéciales effectuées sur d'autres échantillons devront donner la quantité des sels solubles, d'acide carbonique restant dans la chaux, etc., analyses en tout conformes à celles du calcaire.

REMARQUES. — La chaux des usines ne contient guère que 88 % de chaux réelle. La chaux vive a pour densité 2,3.

1 mètre cube de chaux vive pèse environ 900 kilogrammes pour la chaux grasse, 5 à 600 kilogrammes pour la chaux maigre.

1 kilogramme de chaux demande pour se saturer 400 litres ou 790 grammes d'acide carbonique pur.

La chaux grasse foisonne de 2 1/2 à 3 fois son volume.

La chaux maigre foisonne de 1 1/4 à 1 1/2, et contient 20 % de sable.

§ 3. — Acide carbonique.

Le dosage de l'acide carbonique employé dans l'usine pour la carbonatation est fort utile à effectuer de temps en temps pour s'assurer de la marche du four à chaux, ou calculer le temps approximatif que dureront les carbonatations. Le gaz sera un mélange d'air où domine l'azote, d'acide carbonique et parfois d'oxyde de carbone. L'élément intéressant par-dessus tout est l'acide carbonique.

Le moyen le plus simple de doser cet acide carbonique sera d'employer une éprouvette graduée en 100 divisions, le 0 près de l'ouverture, et renversée sur une cuve à eau; on l'emplit du gaz de l'usine jusqu'au trait 0, puis on introduit dans cette éprouvette pleine de gaz un petit morceau de potasse ou de soude caustique, on la ferme sous l'eau avec le doigt ou la paume de la main, on agite violemment, on réintroduit la main dans l'eau et débouche. Pendant cette agitation, l'acide carbonique est absorbé par la potasse, en sorte que lorsque l'on débouche l'éprouvette l'eau s'y précipite et monte de la quantité du gaz disparu. On agite encore plusieurs fois de la même manière, et lorsque l'eau cesse de monter dans l'éprouvette en l'y plongeant, c'est que tout l'acide carbonique a disparu. La lecture du degré de l'éprouvette auquel est monté l'eau, lecture faite en amenant le niveau de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur sur le même plan, en plongeant suffisamment l'éprouvette dans la cuve, donne la quantité de gaz carbonique que contenaient 100 du gaz de l'usine. Si donc on lit, par exemple, le nombre 32, c'est que le gaz contenait 32 % d'acide carbonique.

On peut employer aussi une lessive de soude pour faire cet essai, mais le maniement en est désagréable, car ce n'est pas impunément que l'on plonge souvent les mains dans la soude caustique.

On a imaginé divers appareils pour faire le dosage de l'acide carbonique, d'une manière simple et courante, sans faire intervenir l'immersion des doigts dans le liquide.

Possoz, le premier de tous, a construit un instrument fort simple et fort maniable qui n'est, d'ailleurs, qu'un appareil Orsat simplifié. Il se compose d'un manchon de verre, gradué de 0 à 40, renflé au-dessus de

ce point en forme de ballon, et rétréci à ses deux extrémités de manière à recevoir un tube en caoutchouc. Ce manchon est placé verticalement, le 0 en bas. Le tube en caoutchouc du haut est fermé par une pince, tout près de la tubulure. Le tube en caoutchouc du bas, est fermé de même par une pince, à l'effleurement de la tubulure inférieure. L'autre extrémité du tube est adaptée à la tubulure inférieure d'une éprouvette, qui, lorsque l'appareil est à l'état de repos, est placée au-dessous de ce manchon. Le tout est placé dans une boîte pouvant s'accrocher à la muraille. Ceci posé, voici comment on se sert de l'instrument. L'éprouvette est remplie d'eau. Sur le tube en caoutchouc supérieur, au-dessus de la pince, on adapte un petit tube, d'une capacité de 20 à 30 centimètres cubes, dont l'ouverture supérieure peut se fermer avec un bouchon en caoutchouc. On commence par ouvrir toutes les pinces, et en prenant à la main l'éprouvette, on l'élève jusqu'au haut, de manière à remplir tout l'appareil d'eau. Ceci fait, on referme la pince du haut et descend l'éprouvette à sa place. Le gaz carbonique arrivant à l'appareil par un tube en caoutchouc, on commence par lâcher une certaine quantité de gaz dans l'atmosphère pour purger d'air le tuyau que l'on adapte alors au tube du haut. On ouvre à ce moment la pince du bas, le gaz chasse l'eau, et vient barboter dans l'éprouvette. Quand on est sûr de posséder ainsi un échantillon moyen de gaz, on ferme la pince du haut, on retire le tube en caoutchouc d'arrivée du gaz et avant de fermer la pince du bas, on soulève l'éprouvette, de manière à remplir le tube en caoutchouc d'eau; on ouvre un peu la pince du haut pour équilibrer la pression, et on ferme définitivement les deux pinces. On introduit alors dans le tube une solution de soude caustique pesant 13° Baumé environ, et on ferme bien avec le bouchon. On ouvre alors la pince du haut, la solution de soude tombe dans le manchon. Pour que tout l'acide carbonique s'absorbe bien, on saisit tout l'appareil à la main et l'on agite fortement et longtemps, soit une centaine de fois. On referme la pince du haut et l'on ouvre celle du bas. Comme le gaz carbonique est dissous, l'eau se précipite dans le manchon, d'autant plus que le gaz était plus riche en acide carbonique. Soulevant donc l'éprouvette, de manière à ce que le liquide soit à égal niveau dans les deux vases, la lecture indiquera la quantité pour 100 de gaz carbonique que contenait le gaz de l'usine.

Enfin, on aura soin d'opérer à une température voisine de 15° pour n'avoir pas de trop grandes corrections à faire, corrections que nous avons indiquées précédemment (page 984).

La *burette Villot* que nous avons décrite au contrôle des générateurs peut servir également à ce genre d'analyse.

GAZ DIVERS. — On a quelquefois à constater, indépendamment de la richesse en acide carbonique, la présence de l'oxygène, de l'oxyde de carbone, de l'acide sulfureux, de l'acide sulfhydrique, etc., dans certains gaz de l'usine. Le dosage d'une partie de ces éléments est aussi facile que celui de l'acide carbonique, en faisant usage de réactifs appropriés. C'est ainsi qu'au lieu d'une lessive de soude dans l'expérience ci-dessus, on pourra se servir d'*acide pyrogallique* ou de *pyrogallate de potasse ou de soude* pour absorber et doser l'oxygène. Pour l'oxyde de carbone, on emploiera le *protochlorure de cuivre*; enfin l'acide sulfureux sera absorbé par les *permanganates alcalins*. Quant à l'hydrogène sulfuré, il est rarement en quantité dosable, sa présence étant toujours mise en évidence par son odeur particulière, qui est sensible pour les traces de ce gaz; cependant, l'*acétate de plomb* ou le *sulfate de cuivre* l'absorbent si l'on voulait en faire le dosage. L'azote s'obtient par différence avec les gaz non dosés. On se sert pour faire ces analyses de l'appareil Orsat, ou de la burette Villot que nous avons décrits à propos de la conduite des générateurs (p. 854).

TITRE V

EAUX DE L'USINE.

L'eau qui sert à la fabrication du sucre doit remplir certaines conditions de pureté indispensables, sous peine de compromettre parfois et la durée des appareils et le bon fonctionnement de l'usine. En effet, une eau saline introduite dans les jus à la diffusion, avec la chaux, dans le lavage des filtres, ou dans les égouts divers au clairçage, entraîne avec elle naturellement la formation de mélasses inévitables. Une eau séléniteuse, comme on la rencontre parfois très surchargée de sulfate de chaux, forme dans les appareils de chauffage de toutes sortes, partout où il y a des surfaces chaudes, sur les serpentins, dans les tubes de triple-effet et dans les générateurs, des incrustations tellement gênantes qu'elles arrêtent parfois la marche entière de l'établissement qui l'emploie. L'eau de l'usine doit donc être essentiellement pure, dénuée de chlorures, de sulfates, de nitrates et de matières organiques, de carbonates de chaux, de magnésie, etc. L'eau la plus pure sera la meilleure; c'est pourquoi on ne doit jamais perdre les eaux de retour de vapeur qui, outre le calorique qu'elles conservent presque toujours, sont encore extrêmement pures et propres en particulier, par cette pureté même,

à l'usage de l'alimentation des générateurs. C'est ainsi que de l'eau de pluie et l'eau de la fonte des neiges sont employées avec succès pour ces différents usages. En tout cas, de deux eaux on devra choisir la moins chargée en sulfates, dût-elle contenir une plus grande somme de dépôt, ceux de sulfate étant infiniment plus dangereux que les autres.

Il sera utile de connaître, au moins qualitativement, les différentes matières dissoutes dans l'eau de l'usine. On emploie pour cela les réactifs suivants :

L'ébullition provoque la précipitation du carbonate de chaux, dissous à la faveur de l'acide carbonique.

Le chlorure de baryum décèle l'acide sulfurique, précipité insoluble dans l'acide nitrique et l'acide chlorhydrique.

Le nitrate d'argent donne, avec le chlore et les chlorures, un précipité floconneux, cailleboté, violet à la lumière, insoluble dans l'acide nitrique, soluble dans l'ammoniaque.

L'acide chlorhydrique produit le dégagement du gaz carbonique contenu dans l'eau, gaz troublant l'eau de chaux et incolore.

L'oxalate d'ammoniaque forme, avec la chaux, un précipité blanc insoluble dans l'ammoniaque.

L'ammoniaque, le *chlorhydrate d'ammoniaque*, et le *phosphate de soude*, versés tour à tour dans l'eau, comme nous l'avons indiqué dans un paragraphe précédent, donnent, avec la magnésie, un précipité blanc, se formant parfois lentement dans le liquide débarrassé de la chaux.

Le *savon* produit avec la chaux et la magnésie un précipité floconneux.

Enfin veut-on doser tout ou partie de ces éléments, en pesant séparément les précipités formés avec toutes les précautions et transformations indiquées dans les chapitres précédents, on se fera une idée de la composition des eaux que l'on a à sa disposition.

Nous indiquerons ici le procédé dit *hydrotimétrique* pour reconnaître la qualité sommaire d'une eau. On sait qu'une eau qui ne dissout pas le savon est impropre aux usages domestiques, ses bases calcaires et magnésiennes formant avec l'acide du savon un précipité. Clark, en 1847, imagina un procédé, appliqué plus tard par Boutron et Boudet, dit *hydrotimétrie*.

Le procédé est basé sur ce que le phénomène de la mousse dans une eau de savon n'apparaît qu'autant que la chaux et la magnésie ont été neutralisées par une quantité proportionnelle de savon. Il apparaît dans l'eau pure pour 1 décigramme de savon par litre. Si donc on verse dans

une eau une solution titrée de savon, dès que l'on aura dépassé la proportion de 1 décigramme de savon par litre, tout ce que l'on aura été obligé d'ajouter pour déterminer le phénomène de la mousse, indiquera la quantité de base terreuse qu'elle contiendra.

On emploie le savon à l'état de solution alcoolique, et on titre la liqueur d'épreuve au moyen d'une solution ou de chlorure de calcium fondu, contenant $\frac{1}{4000}$ de son poids, soit 0,25 de ce sel par litre, ou de 0,59 de nitrate de baryte. La composition de la liqueur a été calculée de telle sorte que chaque degré corresponde à 0,1 de savon neutralisé pour 1 litre d'eau soumise à l'expérience pour provoquer le phénomène de la mousse, et représente soit à 0,0114 chlorure de calcium, soit 0,01 de carbonate de chaux pour la même quantité d'eau. Le *degré hydrotimétrique* d'une eau indique donc immédiatement la proportion de savon qu'elle neutralise par litre et la mesure de sa pureté.

La manipulation est donc bien simple. On introduit dans un petit ballon 40 centimètres cubes de liquide à essayer. Au moyen d'une burette ou pipette, on y ajoute la solution titrée jusqu'à ce que l'agitation provoque une mousse durable : la lecture de la burette indique à ce moment la quantité de savon employée.

On a construit, pour l'usage de ce procédé, des nécessaires renfermant tous les instruments utiles pour faire l'opération, et, en outre, un flacon de nitrate de baryte dosé à 20° par centimètre cube pour titrer la liqueur de savon, et un autre contenant une solution d'oxalate d'ammoniaque au soixantième, pour vérifier le titre de la précédente.

Remarque. Les données générales précédentes sont suffisantes pour apprécier, dans tous les cas la qualité des eaux d'usines, qui ne doivent jamais contenir plus de 0gr.,3 de matières solides dissoutes par litre, pourvu que ce ne soit pas du sulfate de chaux, auquel cas on devra être encore plus sévère sur son choix.

TITRE VI

MANIPULATIONS DIVERSES, LIQUEURS TITRÉES, ETC.

Liqueur alcalimétrique de Gay-Lussac. Elle contient 5 grammes d'acide sulfurique pur monohydraté dans 50 centimètres cubes de liqueur (ou 10 grammes dans 100).

On appelle 1 degré alcalimétrique le volume de 1/2 centimètre cube de liqueur.

Pour faire l'essai alcalimétrique, on verse dans un vase en verre, à fond plat, placé sur une feuille de papier blanc, un certain volume de la liqueur à essayer. On l'étend d'eau si elle est concentrée, et on la bleuit par quelques gouttes de teinture de tournesol, puis on y verse, au moyen d'une burette graduée à robinet, la liqueur alcalimétrique, goutte à goutte, jusqu'à ce que le tournesol passe du rouge vineux au jaune pelure d'oignon, et l'on fait la lecture. On ne doit mettre que quelques gouttes de teinture de tournesol, parce qu'elle est alcaline et fausse les résultats. Si l'on a affaire à des carbonates, il est nécessaire de chauffer le liquide à essayer à l'ébullition, pendant tout le temps de l'opération pour chasser le gaz carbonique. A cet effet, on fait usage de vases en verre de Bohême, qui vont sur le feu.

Un degré alcalimétrique correspond dans les différents essais à :

0 ^{gr} ,04817	de potasse,
0 ^{gr} ,0315	— soude,
0 ^{gr} ,02857	— chaux,
0 ^{gr} ,05402	— carbonate de soude,
0 ^{gr} ,0172	— ammoniacque,
0 ^{gr} ,05510	— acide nitrique,
0 ^{gr} ,07816	— baryte,
0 ^{gr} ,07060	— carbonate de potasse,
0 ^{gr} ,01426	— azote.

D'après ces nombres on voit que si l'on veut essayer un carbonate de potasse ou de soude, si l'on en dissout 5 grammes dans l'eau, si le carbonate était pur, il faudrait :

Pour saturer 5 grammes de carbonate de potasse 70°,82 de liqueur ;
5 — de carbonate de soude 92°,59.

Tout carbonate de potasse ou de soude qui demandera moins de liqueur sera impur, et l'essai permettra de calculer la quantité de carbonate pur qu'il contient.

On appelle *Degré calcique* la quantité de chaux contenue dans 1 centimètre cube d'eau de chaux saturée limpide, correspondant à une liqueur acide normale. Exemple. Un jus déféqué titre 200° calciques lorsque 100 centimètres cubes de ce jus exigent 200 centimètres cubes d'acide normal.

En fabrication on se sert d'une autre liqueur contenant 17 gr., 505 d'acide sulfurique dans 10 litres d'eau, et qui correspond à 1 gramme de chaux, et on exprime toutes les alcalinités dans les analyses en équivalents de chaux. Nous avons donné la manière de faire cette liqueur à l'article carbonatation.

Dosage du chlore.— On dissout 57 gr. 88 de nitrate d'argent (AgOAzO^3) dans l'eau, et on fait deux litres de la liqueur. Si $1/2$ centimètre cube représente 1° comme dans la liqueur de Gay-Lussac,

1°	correspond à	0 ^{gr} 10	de chlorure de sodium,
—		0 ^{gr} 03	— chlore
—		0 ^{gr} 0634	— chlorure de potassium.

On dit encore que 100 parties de chlorure de potassium correspondent à 78 de chlorure de sodium et 74,35 de chlorure de calcium.

Dosage des sulfates. — On dissout dans l'eau 5 gr., 97 de chlorure de baryum calciné, et l'on en fait 50 centimètres cubes de liqueur.

100° de la liqueur normale de chlorure de baryum (BaCl) correspondent à :

5 ^{gr}	de sulfate de potasse,
4 ^{gr} ,0725	— soude,
2 ^{gr} ,79	acide sulfurique monohydraté (SO^3, HO),
2 ^{gr} ,28	— anhydre (SO^3),
3 ^{gr} ,908	sulfate de chaux.

Dosage des phosphates. — On forme une liqueur contenant par 1000 centimètres cubes 34 gr., 25 de nitrate de bismuth neutre dissous dans 100 grammes d'acide nitrique de 1,25 de densité.

100 centimètres cubes de liqueur correspondent à 0,5 d'acide phosphorique (PhO^3) et à 0,2183 de phosphore. Faire le dosage à chaud.

Dosage de la chaux. — Quand la chaux n'est pas seule matière alcaline, dans un sucrate par exemple, on peut faire usage d'une liqueur titrée d'acide oxalique composée de 45 grammes d'acide oxalique cristallisé dans 1,000 centimètres cubes de liqueur. 1 centimètre cube correspond à 0,02 de chaux.

Solutions diverses. — Une solution saturée de chlorure de sodium

pèse à l'aréomètre de Baumé	26°
une solution saturée de nitrate de soude	40
— à l'ébul. de carb. de soude	37
— à 15° — chaux contient	1 gr.,30 de chaux.
— 100 —	8 gr.,79

Préparation de la teinture et du papier de tournesol. — Dans un flacon de 1 litre on met 200 grammes de tournesol en pain et 600 centimètres cubes d'alcool à 25 %. On agite fortement et laisse macérer, puis

on décante le liquide dans un autre flacon chargé de 200 grammes de tournesol neuf, et ainsi de suite jusqu'à ce que la liqueur soit bien colorée. Dans le premier flacon on rajoute de nouveau 600 centimètres cubes d'alcool, que l'on repasse sur le second, etc., et l'on recommence jusqu'à ce que le tournesol soit épuisé. Le tournesol ainsi préparé étant très bleu on le ramène à une teinte moins forte avec l'acide nitrique. Avec cette teinture, on imprègne du papier à filtre blanc, ou bien l'on peint le papier collé avec un pinceau, et on laisse sécher sur des cordes à l'ombre et à l'abri des émanations acides et alcalines.

Papier de curcumine. — On opère de même avec 100 grammes de poudre de curcuma par flacon et 700 centimètres cubes d'alcool à 80 0/0.

Préparation du sous-acétate de plomb. — Dans les analyses de jus, de sucre, etc., on emploie du sous-acétate de plomb qui doit être aussi chargé que possible en oxyde de plomb. Pour préparer cet acétate particulier, on dissout dans 3,3 litres d'eau distillée, 750 grammes d'acétate neutre de plomb ($C^4H^3O^3PbO+3HO$) on y ajoute 500 grammes de litharge pulvérisée, et on laisse digérer 6 à 10 heures. Puis on chauffe doucement en remuant de temps en temps, jusqu'à l'ébullition et on verse dans un flacon le liquide épais quand il est froid. On décante la liqueur claire au fur et à mesure du besoin.

Courtonne a donné une autre formule pour la préparation du sous-acétate de plomb.

Pour 1 litre de dissolution :

Acétate neutre de plomb cristallisé	350 grammes
Eau distillée	825 —
Après dissolution ajouter : ammoniac à 22°	55 —

Préparation de l'alumine en gelée. — Elle s'obtient simplement par la précipitation par l'ammoniac de l'alun ou du sulfate d'alumine. On décante et on lave.

TITRE VII

VASES GRADUÉS

Dans toutes les opérations de dosages que nous venons de passer en revue, on se sert de vases gradués, litre et ses sous-multiples, pipettes, burettes, etc.

Il est donc de première nécessité que ces vases soient *bien gradués*, c'est-à-dire que chacune des divisions représente exactement le volume inscrit sur la graduation. Par conséquent la première chose que doit faire un chimiste, c'est de vérifier si les instruments qu'il achète sont exacts, avant de s'en servir, sinon il s'expose à des erreurs graves. On pèse les corps à analyser en tenant compte parfois des divisions du milligramme. Il faut donc, quand on mesure le volume du liquide dans lequel on dissout ce corps si bien pesé, que l'instrument de mesure de volume réponde comme exactitude à celle que l'on a mise à peser le corps lui-même.

Nous avons vu, à propos des aréomètres, que l'unité de mesure du volume est le *litre métrique* ou décimètre cube, quelle que soit la température à laquelle on opère.

Nous avons vu aussi que la densité de l'eau diminuant en même temps que la température de l'eau augmente au-dessus de 4°, un litre d'eau à 15°, par exemple, pèse moins qu'un litre d'eau à 4°, à cette dernière température correspondant le maximum de densité de l'eau.

Par conséquent si l'on possède un vase d'un litre, qu'on mette de l'eau dedans et qu'on pèse cette eau, si la substance avec laquelle le litre a été fait n'était pas dilatable, on aurait des poids différents pour l'eau y contenue suivant la température à laquelle on opérerait la pesée.

Beaucoup de physiciens se sont préoccupé de déterminer le volume occupé par l'eau distillée aux différentes températures. La table suivante montre les petites divergences qui existent entre les savants.

Volume de l'eau distillée aux différentes températures.
(L'unité de volume de l'eau étant à 4°).

TEMPÉRATURES	ROSSETTI 1838	DESPRETZ 1839	KOPP 1847	ISID-PIERRE 1845-1852	MOYENNE
- 4	1,000516	1,000562	1,000000	1,000557	1,000546
- 2	1,000296	1,000308	1,000000	1,000217	1,000308
0	1,000136	1,000137	1,000123	1,000119	1,000130
+ 4	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
10	1,000246	1,000268	1,000247	1,000267	1,000260
14	1,000691	1,000715	1,000679	1,000707	1,000706
20	1,001742	1,001790	1,001690	1,001713	1,001746
32	1,004889	1,004940	1,004816	1,004804	1,004874
40	1,007738	1,007730	1,007632	1,007632	1,007695
50	1,011907	1,012050	1,011891	1,011936	1,011941
60	1,016861	1,016980	1,016915	1,017232	1,016919
70	1,022529	1,022550	1,022372	1,023059	1,022555
80	1,028836	1,028850	1,028708	1,029483	1,028869
90	1,035662	1,035660	1,035525	1,036413	1,035675
100	1,043116	1,043150	1,043125	1,043773	1,043130

Les mêmes physiciens ne sont même pas absolument d'accord sur le point exact de maximum de densité de l'eau. C'est ainsi que Despretz fixe ce point à 4° de température, tandis que Rossetti l'indique à 4°,04, Kopp à 4°,08 et Isid. Pierre à 3°,96. On a adopté 4° pour cette température.

L'usage prévaut aujourd'hui de se réclamer de la table de Rossetti. Cette table est ainsi conçue en appelant dt , vt la densité et le volume à t° en supposant d° et v° égaux à l'unité, et Dt et Vt la densité et le volume à t° en supposant D^{40} et V^{40} égaux à 1.

Table de Rossetti de 0° à 50°.

t	dt	vt	Dt	Vt
0	1,000000	1,000000	0,9998650	1,0001340
1	1,0000331	0,9999669	0,9998990	1,0001010
2	1,0001010	0,9998990	0,9999669	1,0000334
3	1,0001258	0,9998742	0,9999917	1,0000083
4	1,0001338	0,9998662	0,9999998	1,0000002
5	1,0001280	0,9998720	0,9999939	1,0000061
9	0,99905	1,00004	0,99982	1,00018
10	0,99988	1,00012	0,99975	1,00025
15	0,99922	1,00071	0,99916	1,00084
20	0,99839	1,00161	0,99826	1,00175
30	0,99588	1,00413	0,99575	1,00428
50	0,98843	1,01181	0,98835	1,01194

Le litre métrique étant pris pour unité, tous les vases gradués doivent se rapporter à cette unité.

Or 1 litre d'eau distillée à 4°, pesé dans le vide, pèse 1 kilogramme. C'est l'unité de poids.

Si donc on voulait jauger exactement un ballon de 1 litre il faudrait le remplir d'eau à 4° et le peser dans le vide en mettant un poids de 1 kil. de l'autre côté.

Cette opération n'étant absolument pas pratique, on pèse le vase plein d'eau jusqu'au trait dans l'air, et on tient compte de la température, tant au point de vue de la dilatation du vase qu'à celle de l'eau. On corrige la pesée de la poussée qu'exerce l'air ambiant sur le vase et sur les poids en laiton mis sur les plateaux de la balance, et l'on obtient une vérification exacte du volume du vase.

Des formules ont été établies pour faire ces corrections.

Mais les pesées et les jaugeages ne se faisant jamais à 4°, il est plus simple d'établir des vases qui mesurent exactement un litre à la température ambiante.

Le choix de cette température a fait l'objet de controverses. Seulement comme Gay-Lussac a adopté jadis la température de 15°, que ses recherches sont passées dans le domaine scientifique comme point de départ de tous les travaux similaires, la température de 15° a été adoptée en France comme officielle dans la graduation de tous les instruments de mesure. L'Allemagne l'a adoptée aussi depuis quelques années. C'est donc à 15° que toutes les pesées doivent être faites pour le contrôle du litre et sous-multiple. Nous avons vu qu'à cette température un litre d'eau pèse 999 gr. 16 d'après les tables de Rossetti, c'est ce nombre que l'on emploie ordinairement.

Appliquant ce nombre aux formules de correction qui tiennent compte de :

P_t = la somme des poids en laiton que l'on met sur la balance à la température t .

c = la densité du laiton.

a = poids du litre d'air en grammes dans les conditions de l'expérience. Ce poids est égal à 1 gr. 225 à 15° et 76 centimètres de pression.

V_{15} = le volume cherché à 15°.

γ = coefficient de dilatation du verre.

θ = la différence ($t - 15$).

D_t = densité de l'eau à t .

Démichel a donné la formule suivante qui tient compte de tous les phénomènes qui se passent dans la pesée :

$$(1) \quad P_t = V_{15} (1 + \gamma \theta) \left[D_t \left(1 + \frac{a}{c} \right) - a \right]$$

Pour simplifier les calculs et opérer avec plus de précision, il vaut mieux opérer à 15°, et pour cela refroidir le ballon que l'on jauge, et l'eau qu'il contient, dans un courant d'eau si la température du laboratoire est à plus de 15. Dans ce cas $\theta = 0$, $D_t = D_{15} = 0,999160$, $V_{15} = 1000$ et la formule devient :

$$P_t = V_{15} \left[D_t \left(1 + \frac{a}{c} \right) - a \right]$$

$$\text{ou} \quad P_t = V_{15} \left(1 + \frac{a}{c} \right) \left[D_t - \frac{a}{1 + \frac{a}{c}} \right]$$

donc : $P_t = 1000 \times 1,000146 (0,999160 - 0,001225) = 998,081$.

Il faut donc peser dans l'air 998 gr. 081 d'eau distillée à 15° pour que son volume soit exactement de 1000 centimètres cubes à cette température.

Dans cette formule on ne tient pas compte de la variation barométrique parce qu'elle donne une différence insignifiante quand le baromètre est peu au-dessus ou peu au-dessous de 760. Mais en temps d'orage quand le baromètre est très bas, ou par un temps très beau quand le baromètre monte au delà de 770 on peut avoir à en tenir compte. Et alors dans la formule on change a par sa valeur.

$$a = 1,293 \times \frac{H - F}{760} \times \frac{1 + 0,00367 \cdot t}{1}$$

H = pression barométrique, F = tension de la vapeur d'eau, dont on peut ne pas tenir compte.

Pour simplifier les calculs, Dupont, auquel nous devons faire beaucoup d'emprunts car il s'est occupé spécialement de ces questions, a calculé la table suivante qui donne le *poids dans l'air en grammes de 1000 centimètres cubes d'eau pesés avec des poids en laiton*, que nous désignerons dans la table par P_t . Il y a joint la densité et le volume d'un litre d'eau aux différentes températures, d'après Rossetti.

De tout cela résulte qu'un vase d'un litre pesé dans l'air avec des poids en laiton, correspondra à 998 gr. 081 d'eau s'il est à 15°; pesé dans le vide à 15°, il contiendra 999 gr. 160 d'eau; et pesé dans le vide à 4°, il contiendra 1000 grammes d'eau distillée.

Les subdivisions du litre pèseront les subdivisions correspondantes des poids précédents en grammes. Donc pour vérifier une fiole de 100 centimètres cubes, on devra trouver qu'elle contient 99 gr. 8081 d'eau à 15°.

Table de F. Dupont pour la vérification des vases gradués.

TEMPÉRATURES	DENSITÉ	VOLUME	P ₂
4	1,000000	1,000000	998,877
5	0,999990	1,000010	998,871
6	0,999970	1,000030	998,852
7	0,999933	1,000067	998,823
8	0,999886	1,000114	998,779
9	0,999824	1,000176	998,721
10	0,999747	1,000263	998,648
11	0,999655	1,000354	998,560
12	0,999549	1,000451	998,450
13	0,999430	1,000570	998,341
14	0,999299	1,000701	998,215
15	0,999160	1,000841	998,081
16	0,999002	1,000999	997,921
17	0,998841	1,001116	997,769
18	0,998654	1,001348	997,585
19	0,998460	1,001542	997,395
20	0,998250	1,001744	997,189
21	0,998047	1,001957	996,989
22	0,997828	1,002177	996,774
23	0,997601	1,002405	996,550
24	0,997367	1,002641	996,320
25	0,997120	1,002888	996,077
26	0,996866	1,003144	995,826
27	0,996603	1,003408	995,566
28	0,996331	1,003682	995,297
29	0,996051	1,003965	995,020
30	0,99576	1,00425	994,723
31	0,99547	1,00455	994,445
32	0,99517	1,00486	994,150
33	0,99485	1,00518	993,834
34	0,99452	1,00551	993,508
35	0,99418	1,00586	993,170

Après cela il nous reste peu de chose à dire sur les instruments gradués qui, tous, devront être vérifiés par la pesée ; on peut bien en effet les vérifier par comparaison avec un autre vase gradué, mais on n'a pas ainsi d'indication rigoureuse.

Les vases gradués sont de deux sortes : ceux qui servent à mesurer directement les liquides que l'on y introduit ; tels sont les ballons, les éprouvettes graduées. Ceux qui sont destinés à mesurer les liquides par écoulement, comme sont les burettes, pipettes, etc. Les premiers sont gradués à sec, les seconds humides.

Les burettes et pipettes sont vérifiées en faisant couler leur contenu dans un vase quelconque et le pesant. Cela ne fait donc aucune difficulté. On les emplit d'eau à 15° et on vérifie divisions par divisions les burettes, et d'une seule fois si l'on a affaire à une pipette.

La pipette à un trait doit être vérifiée en faisant couler l'eau dans un vase, et appuyant, à la fin, sa pointe sur le bord du vase, sans souffler dedans. C'est ainsi d'ailleurs qu'on doit toujours s'en servir. On conçoit

que ce genre d'instrument ne présente pas des garanties d'exactitude bien grandes, aussi doit-on lui préférer la pipette à deux traits.

Ces pipettes et burettes sont sensiblement exactes quand elles servent à mesurer de l'eau. Mais quand on y introduit un autre liquide de viscosité différente, il est évident que la quantité de ce liquide qui mouille la paroi n'est pas la même que celle de l'eau qui a servi à vérifier la graduation. On s'expose donc dans ce cas à faire des erreurs sensibles, si on ne peut faire une vérification expérimentale de la quantité de liquide écoulée. Heureusement, pour nos essais de laboratoire, les burettes sont employées aux essais alcalimétriques ou de liqueur de Fehling, et c'est au moyen des mêmes liquides qui y seront employés que l'on fait l'épreuve de la justesse de la liqueur, ce qui assure l'exactitude des résultats.

Il y a un point sur lequel on ne s'arrête pas souvent et qui cependant est très important lorsque l'on veut faire la vérification d'un ballon gradué par pesée, c'est la *tension superficielle* de l'eau qui sert à emplir la fiole. En effet cette force change la forme, et par conséquent le poids du ménisque.

Delachanal a déterminé la valeur de la tension superficielle de l'eau distillée pure à 15° et l'a trouvée égale à 7,25 milligrammes. Dans un ballon ayant 16 millimètres de diamètre de col (surface 50 millimètres carrés) le poids du ménisque est $50 \times 7,25 = 36,25$ milligrammes.

Démichel fait remarquer que si l'eau employée à l'emplissage avait seulement 6,00 au lieu de 7,25 de tension superficielle, le ménisque ne pèserait plus que 30 milligrammes, soit 6,25 milligrammes de moins sur la balance. Cette différence est inappréciable sur la graduation, car le trait ne descendrait que de 0 mm. 03, mais cela prouve que la pesée au milligramme dans ce genre d'expérience n'a pas de raison d'être, car la tension superficielle de l'eau d'un laboratoire est très variable. Pour faire ces essais il faut de l'eau récemment distillée et bouillie au moment de l'expérience pour bien la purger d'air et de gaz, et dans laquelle aucune trace des acides qui emplissent l'atmosphère des laboratoires ne se soit dissoute.

Pour les ballons à large col la vérification est presque illusoire et un bon densimètre donne souvent de meilleurs résultats que ceux produits par le jaugeage dans ces ballons.

TITRE VIII

VISCOSITÉ

§ 1. — Viscosité.

Il n'y a pas bien longtemps que l'on commence à s'occuper de la viscosité des liquides sucrés comme élément de mesure de leur facilité à la cristallisation.

D'ailleurs le mot viscosité lui-même n'est pas nettement défini, et l'on a l'intuition du phénomène beaucoup plus que la connaissance exacte de ce qu'il est ; car les physiciens ont reconnu que cette propriété des fluides correspond à une quantité de phénomènes collatéraux, complexes et de nature plus ou moins variable. Comme leur viscosité est la résultante de toutes ces forces, on l'a définie *frottement moléculaire* ou *interne*, et on a cherché à la déterminer par la comparaison entre liquides différents, au moyen du frottement qu'ils exercent sur eux-mêmes pendant l'écoulement. Et pour ce faire on a choisi l'écoulement dans des tubes capillaires pour s'écarter le moins possible de l'état moléculaire, car en grande masse on ne verrait rien du tout, et on a effectué la mesure au moyen du liquide écoulé dans un temps donné.

Poiseuille a fait des recherches sur ce sujet, en faisant écouler un volume déterminé de liquides différents par un tube capillaire très long par rapport à son diamètre. La grande longueur du tube est nécessaire pour éviter les remous, vibrations, déformations qui se passent dans un court ajutage. Il faut aussi que le liquide coule d'un jet continu et non goutte à goutte, sinon les résultats sont faussés.

Poiseuille a trouvé ainsi que la vitesse d'écoulement dans un tube mouillé est : 1° proportionnelle à la charge H (et non à sa racine carrée, comme le voudrait la formule $\sqrt{2gH}$) ; 2° en raison inverse de la longueur l du tube (avec tubes longs) ; 3° proportionnelle à la quatrième puissance du diamètre d .

La dépense D est donc donnée par la formule :

$$D = K \frac{H d^4}{l}$$

K est un coefficient constant pour chaque liquide pris à la même température, et égal à 183,783 millimètres cubes pour l'eau, H étant évalué en millimètres. Poiseuille a aussi reconnu que la formule est constante

quelle que soit la nature du tube, et en conclut que l'écoulement se fait à travers le canal liquide fourni par la couche adhérente aux parois du tube. Pour les liquides qui ne mouillent pas le tube la loi est tout autre, mais nous n'avons pas à nous en occuper ici.

L'écoulement a donc lieu par le frottement des molécules sur les molécules mêmes des liquides, par conséquent il peut servir à déterminer la viscosité des liquides.

Cependant il ne faut pas se méprendre sur ce terme. L'alcool, par exemple, qui est beaucoup plus mobile que l'eau, coule moins vite qu'elle à travers un tube capillaire. La mesure de la viscosité par écoulement n'est donc qu'un moyen de comparaison entre liquides similaires, agissant de même manière vis-à-vis de la paroi des tubes, comme deux liquides sucrés par exemple, partant de l'eau comme terme de comparaison. De sorte que la viscosité dite *spécifique* ne signifie pas grand chose pour nous, la viscosité *relative* des liquides entre eux répondant seule aux besoins industriels.

§ 2. — Viscosimètres.

Les *viscosimètres* sont des instruments destinés à mesurer l'écoulement des liquides par tubes capillaires. Nous avons vu que Poiseuille recommande l'écoulement par un tube long, sous peine de troubles dans le temps de cet écoulement. Cette vérité est peu connue; aussi voyons-nous presque tous les viscosimètres munis de tubes courts, ce qui est un tort. Seul le viscosimètre de Grobert et Démichel présente un tube long.

La viscosité doit être prise à une température constante, car une très petite différence dans la température diminue considérablement la viscosité des liquides, surtout des liquides sucrés. Beaucoup d'expériences ont été faites à 20°. Les viscosimètres doivent donc être entourés d'une enveloppe à courant d'eau à température constante pour être certain que la température ne change pas, ni dans le réservoir ni dans le tube d'écoulement.

Il y a deux manières de compter l'écoulement d'un liquide : soit mesurer la quantité de liquide écoulée pendant un temps donné, soit mesurer le temps pendant lequel une quantité déterminée du liquide s'écoule.

Lallemant a cherché à réaliser un troisième moyen, qui est de faire couler dans deux burettes identiques et ensemble, de l'eau et le liquide dont on recherche la viscosité. La différence entre les deux quantités écoulées dans les deux burettes dans un temps quelconque donne im-

médiatement la viscosité relative du liquide par rapport à l'eau. Les deux burettes sont portées sur le même support, et les deux robinets sont en verre coulé d'une seule pièce, de manière qu'en tournant la clé on ouvre les deux robinets ensemble. Il ne semble pas que cet appareil, quoique très bien imaginé, ait donné des résultats sérieux, à cause de la difficulté d'avoir deux burettes, ou plutôt deux orifices identiques.

Le premier moyen, mesurer la quantité de liquide écoulee pendant un temps donné semble le meilleur, parce que le second est difficile, nécessitant une montre spéciale qui n'est pas à la portée de tout le monde.

Donc, pour mesurer la viscosité relative de deux liquides, on emploiera le même viscosimètre, et l'on mesurera la quantité de liquide écoulee dans le même temps, ce temps étant donné par le battement d'un pendule, ce qui est le moyen le plus pratique.

Le viscosimètre de Grobert et Démichel était d'abord un instrument très compliqué et très fragile. Les auteurs l'ont simplifié considérablement. Il consiste maintenant en un tube d'assez grand diamètre terminé par un tube capillaire qui se visse au moyen d'une douille en cuivre sur le gros tube. Le tube capillaire est très long. Le tout est enfermé dans un réservoir en verre à circulation d'eau. Le gros tube porte une graduation et reçoit le liquide mis en expérience. On le ferme avec un bouchon dans laquelle passe un tube de Mariotte, de manière à avoir une pression constante sur le tube capillaire pendant tout le temps de l'écoulement.

Démichel a étudié analytiquement les propriétés de cet appareil. En désignant par :

H la pression qui produit l'écoulement ;

D et l le diamètre et la longueur du tube capillaire ;

η le coefficient de frottement intérieur, c'est-à-dire la viscosité ;

q le débit du tube dans l'unité de temps (en secondes).

La formule de Poiseuille devient :

$$q = \frac{\pi H D^4}{8 \eta l}$$

en posant $\frac{\pi H D^4}{8 l} = A$ qui est une constante pour l'appareil, on a :

$$q = \frac{A}{\eta}$$

Si l'on appelle θ la durée d'une expérience et V le volume du liquide écoulé pendant ce temps, on a $V = q\theta$:

$$\text{d'où} \quad \eta = \frac{A\theta}{V}$$

si dans deux expériences θ est constant, $A\theta$ est constant et l'on a :

$$\frac{\eta}{\eta'} = \frac{V'}{V}$$

$\frac{\eta}{\eta'}$ est la viscosité relative du corps considéré. Les volumes écoulés mesurent donc parfaitement la viscosité des corps mis en expérience. Pour avoir la viscosité absolue, on n'aurait qu'à reporter la valeur de η dans la formule générale.

Démichel a examiné ce qui se passerait si l'on supprimait le tube de Mariotte. Il est évident qu'alors H varierait à chaque instant. Peut-on, dans ce cas, avoir une mesure de la viscosité, q étant variable en même temps que H .

Si l'on appelle Z la hauteur dont le liquide est descendu dans le tube, la pression étant A au début, elle est $(H-Z)$ au moment où on arrête l'expérience.

Démichel arrive à la formule générale très complexe :

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t L g \frac{H}{H-Z_0}}{t_0 L g \frac{H}{H-Z}}$$

en appelant t le temps d'écoulement et affectant de l'indice 0 les quantités afférentes au liquide type.

Si on laisse écouler le liquide entre deux repères fixes et que l'on mesure le temps d'écoulement, la formule devient :

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t}{t_0}$$

donc, dans ce cas, la mesure des temps donne la viscosité relative. Mais si l'on a des volumes variables pour t constant, la formule devient :

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{L g \frac{H}{H-Z_0}}{L g \frac{H}{H-Z}}$$

Dans ce cas, il faut faire un calcul assez long et posséder une table de logarithmes.

Donc, les viscosimètres ouverts peuvent servir à trouver la viscosité cherchée, mais les résultats ne sont pas faciles à calculer, et tous ceux qui sont basés sur l'écoulement de volumes variables dans un temps constant sont faux si l'on n'applique pas la formule ci-dessus.

De Grobert et Démichel ont fait avec leurs instruments des déterminations de viscosité sur différents liquides. La *viscosité absolue* à 15° de l'eau a été trouvée $\eta = 0,000001170$. Voici quelques-uns de leurs essais : (nombres multipliés par 100.000.000).

Eau distillée				1170
Liqueur sucrée : 300 grammes par litre				2687
— 200 —				1938
— 100 —				1522
— 100 —			+ 1 gr. gomme arabique.	1612
— 100 —			+ 5 —	1722
— 100 —			+ 10 —	1890
— 100 —			+ 5 gr. d'un mélange de KOCO ² + KOA xO ³ + Na Cl	1478
— 100 —			+ 10 gr. glucose	1538

En divisant tous ces nombres par 1.170 on a la *viscosité relative* de toutes ces dissolutions par rapport à l'eau prise pour unité. Ainsi, dans le tableau précédent, la viscosité relative est la suivante :

Liqueur sucrée : 300 grammes au litre	2,297
— 200 —	1,656
— 100 —	1,300 etc.

La température joue un grand rôle dans la viscosité.

Ainsi, dans un essai, nous avons trouvé pour l'eau à 40° une viscosité relative de 0,75 ; pour une dissolution de gomme à 17° une viscosité de 15, et, à 40°, 8,3. C'est ce qui explique la nécessité de chauffer les jus et sirops à filtrer, de réchauffer les masses cuites au coulage et malaxage, d'entretenir une température élevée dans les emplis, et de turbiner chaud les masses un peu gommeuses, etc.

Landolt et Boernstein ont donné, en 1894, un tableau indiquant les viscosités d'une solution sucrée par rapport à l'eau à diverses températures. D'après Sidersky ce tableau se rapporterait à la dissolution de 26 gr.048 de sucre dans 100 centimètres cubes Mohr.

TEMPÉRATURE	VISCOSITÉ	TEMPÉRATURE	VISCOSITÉ
16	2,761	23	1,921
17	2,602	24	1,835
18	2,460	25	1,760
19	2,333	26	1,689
20	2,215	27	1,625
21	2,110	28	1,565
22	2,022		

En traçant la courbe que donnent ces chiffres, on lui trouve une forme incurvée parabolique. Mais la différence des températures auxquelles les expériences ont été faites n'est pas suffisante pour les mettre en équation d'une façon exacte. Il sera nécessaire de faire d'autres expériences poussant plus loin l'élévation de température. D'ailleurs, nous nous sommes déjà étendus sur cette question à propos de la cristallisation en mouvement, page 712.

CHAPITRE SIXIÈME

CONTRÔLE ET COMPTABILITÉ INTÉRIEURE DE L'USINE

Nous ne voulons pas entrer dans de longs détails à propos de ce chapitre sur lequel on pourrait écrire un volume, car, dans une grande usine, le contrôle du travail est complexe, d'autant plus qu'il se rattache à diverses questions de comptabilité inséparables de la gestion de l'usine. En effet, le contrôle intérieur de la sucrerie se partage entre divers chefs de service, qui sont représentés par un seul homme dans les petites industries, mais qui n'occupent pas moins sur les livres un titre séparé. C'est ainsi que l'on peut classer le contrôle : en contrôle du laboratoire, contrôle du magasinier, du contremaître, du mécanicien, du comptable, du caissier, le tout sous l'œil du directeur qui contrôle lui-même chacun de ses employés. L'usine proprement dite sera sous la surveillance d'un chef de fabrication qui coordonne toutes les opérations, *qui doit être chimiste*, et qui dirige le contrôle du laboratoire.

Chaque opération numérique de l'un ou de l'autre des chefs de service doit être consignée sur un registre portant sur une seule feuille journalière les titres des renseignements divers à fournir par eux.

Le chef de fabrication y inscrira plusieurs fois par jour l'analyse des racines, jus, sirops, masses cuites, sucres, etc., quantité de jus obtenue à la diffusion, chaux employée, les filtrations, etc. Il aura à tenir compte du volume de masse cuite produite en premier jet et autres, et établira les rendements. Le magasinier aura à inscrire la quantité de betterave mise en œuvre et la quantité de sucre reçue en magasin correspondant aux échantillons analysés. Il saura aussi la quantité de chaux livrée à l'usine, la quantité de charbon brûlée autant que possible par jour, la graisse, l'huile, les fournitures diverses, etc.

Le mécanicien, de son côté, relèvera le nombre des feux allumés, la pression dans les générateurs, la quantité de graisse, huile chanvre, etc., qu'il commandera pour l'entretien des machines au moyen de bons fournis sur le magasin.

Chacun des chefs de service, d'ailleurs, tiendra la liste des ouvriers qu'il emploiera pour son service.

Tous ces documents joints et confrontés formeront un contrôle sérieux, car ils devront se balancer. En effet, tout sera fait en double, de la sorte, par deux employés différents : ce qui sortira du magasin sera porté sur les feuilles de chaque service ; tout ouvrier employé sera à la fois sur le compte de caisse et sur la liste de son chef direct, enfin, la quantité de sucre entrée en magasin devra concorder avec la production présumée par le laboratoire. Le comptable fera réunir sur un deuxième registre, jour par jour, les entrées et les sorties d'après les notes fournies par les employés, et marquera les différences aux profits et pertes. Ces différences devraient être nulles si les employés faisaient régulièrement leur service. Enfin, il fera chaque semaine un relevé qui représentera très exactement le travail de l'usine.

Outre ces différents contrôles, il y en a d'autres qui ne sont pas sans utilité. Ainsi l'usine devrait toujours avoir à chaque entrée un concierge chargé d'inscrire le nom des ouvriers qui viennent travailler à l'usine. Le caissier pourrait alors contrôler si les listes fournies par les chefs de service sont correctes. Le laboratoire donnant la composition des pulpes ou cossettes, des jus, des écumes et autres déchets, on en déduira la quantité de betterave travaillée qui devra concorder avec celle de la betterave fournie, en tenant compte de la tare, etc.

De la sorte, rien ne sera fait sans passer par deux mains, et la surveillance du directeur sera facile et nécessaire, car lui seul, tenant dans les mains l'ensemble de tous les rouages de cette administration, saura dire aux uns et aux autres le sens dans lequel ils doivent marcher pour arriver au *maximum* de production pécuniaire de l'usine.

Cependant il ne serait pas bon que chacun agit isolément sans qu'il y ait une certaine solidarité entre tous les employés. C'est au tact du directeur à juger du meilleur moyen de laisser savoir et prévoir à tous le but commun vers lequel ils doivent tendre pour pouvoir utiliser leur initiative privée qu'il ne faut pas entraver, mais qu'il faut également contrôler de près.

Pour terminer la comptabilité intérieure de l'usine, il sera nécessaire d'établir le prix de revient de la fabrication de chaque semaine par rapport à 1.000 kilogrammes de betterave et 100 kilogrammes de sucre. On pourra juger par là de l'économie de l'usine à chaque instant.

Le prix de revient du sucre fabriqué est grevé, en outre, du taux d'amortissement du capital avancé pour la construction de l'usine. Une sucrerie comme celle qui nous a servi de type coûte environ un million et quart, réparti ainsi :

Terrains et frais d'achat	30 000 fr.
Pavage, empierrement des abords	20.000 —
Bâtiments, fours à chaux, à gaz	200.000 —
Habitations, (gérance et personnel)	60.000 —
Matériel	800.000 —
Emballage, transport et montage	80.000 —
Puits et accessoires, travaux relatifs à l'eau	30.000 —
Outillage mobile et mobilier industriel	20.000 —
Appareils d'éclairage et de pesage	25.000 —
Frais généraux de premier établissement	25 000 —
	1.290.000 fr.

Une fabrique travaillant deux fois moins coûterait 745,000 francs, c'est-à-dire beaucoup plus que la moitié, il est donc normal de faire une grande usine dont l'établissement coûte beaucoup moins que deux petites.

Mais il faut remarquer que les usines ne marchant que trois ou quatre mois de l'année, le capital doit être amorti dans un très court laps de temps, d'où résulte une grosse somme à ajouter aux dépenses de la fabrication. C'est ce qui fait aussi que dans les grandes usines où le personnel dirigeant est nombreux et chèrement payé, les bénéfices dans les années difficiles sont très problématiques. Dans une petite usine, souvent le propriétaire avec très peu de monde suffit pour diriger le travail, et alors tout l'argent qui eût été dépensé au profit d'employés à gros appointements rentre dans les bénéfices ; ici il n'y a pas proportionnalité comme pour le prix de l'usine. Avant donc de se lancer dans une grande affaire, il faut calculer le prix de revient du sucre, ou au moins les frais qu'occasionnera cette affaire avant de toucher aucun bénéfice.

Tout cela constitue la comptabilité générale de l'usine. Pour ce qui est de la comptabilité intérieure, nous donnons ci-après quelques tableaux de contrôle, tableaux qui nous ont amené aux développements précédents.

Le premier constitue, à proprement parler, le journal du laboratoire.

Il sera bon de l'établir sur une seule et grande feuille mensuelle portant en tête les titres indiqués, et le chimiste n'aura plus qu'à inscrire le résultat de chacune de ses expériences, conservant le brouillon de tous ses calculs qu'il fera sur un cahier tenu avec ordre, c'est-à-dire portant au-dessus de chaque série de calculs l'objet auquel ils se rapportent avec la date journalière. De toutes ces analyses, on déduira la quantité de sucre entrée dans l'usine et celle que l'on retrouve en fin de compte, la différence représentant la perte due à la fabrication.

On constatera la densité de tous les liquides à 15° et de leur observation exacte, on pourra calculer la quantité de vapeur employée pour leur réchauffage et leur évaporation, d'où l'on déduira la quantité de charbon brûlée; et la différence du poids de combustible trouvé et de celui employé réellement constituera les pertes dues au gaspillage, aux radiations, aux appareils défectueux, et l'on devra chercher à réduire cette perte autant que possible, soit en surveillant les ouvriers, soit en garnissant mieux de matières mauvaises conductrices toutes les surfaces chaudes, et changeant les méthodes et appareils vicieux.

Au moyen de ce tableau et du livre de magasin, on établira le second au moyen duquel on calculera tous les rendements. Nous ne parlons pas du livre des autres chefs de service, ceux du chimiste-fabricant nous intéressant seul, mais en réunissant tous les nombres fournis par ces différents services, on formera enfin le troisième tableau qui établira définitivement si la fabrique travaille avec profit ou perte. Dans ce tableau, on chargera le temps de la fabrication proprement dit de tous les frais annuels, à moins que l'on fasse suivre la fabrication d'un travail auxiliaire, comme le raffinage, qui viendra dégrever d'autant les frais généraux de l'usine. C'est même une grande préoccupation des chercheurs de trouver à utiliser le matériel de la sucrerie après la fabrication. C'est le but que se proposait Dubrunfaut, dans le travail de la matière appelée maltose; c'est ce que font les fabricants, surtout en Allemagne, qui achètent des mélasses pour en extraire le sucre, quelque peu de profit que cela leur rapporte, et ceux qui turbinent des sucres roux, etc.

Nous n'avons pas besoin d'entrer dans le détail de ces tableaux, car nous avons donné assez d'extension à l'article *analyse* pour permettre de comprendre le sens de chaque colonne. Nous remarquerons cependant que ces tableaux se complétant par une colonne de *pertes* qui est la balance des entrées et des sorties, il faut mettre le plus grand soin à employer des méthodes homogènes et constantes dans toutes les analyses pour que l'on soit instruit non pas exactement des pertes réelles de sucre que l'on fait dans la fabrique, ce qui serait demander trop, mais de l'accroissement ou du décroissement du chiffre appelé *pertes* aux différentes époques de travail. Il est évident que si ces pertes augmentent, le travail du laboratoire restant religieusement le même, les pertes réelles augmentent. Ce chiffre est donc proportionnel au nombre inconnu réel, c'est pourquoi l'on doit en tenir compte et toujours le consulter. Nous nous en tiendrons là sur ces notions qui permettront aux chimistes-fabricants de suivre au laboratoire la marche commerciale de leur affaire et de la développer dans toutes les limites de leurs facultés.

CHEF DE FABRICATION.

NOVEMBRE	MOIS	POSTE	ANALYSE de la betterave (en poids)			JUS NORMAL (en volume)			JUS DE L'USINE (en volume)				COSSETTE (en poids)			EAU DE CHAUX					
			NUMÉROS	SUCRE	EAU	matière sèche	densité	SUCRE	sels	coefficients	densité	régie	SUCRE	sels	coefficients	matière sèche	sucro	EAU	matière sèche	EAU	CHAUX
1		1																			
2		2																			
1		1																			
2		2																			

CHEF DE FABRICATION.

SIROP				SIROP filtré		EAU de lavage des filtros		MASSE CUITE 1 ^{er} JET					SUCRE 1 ^{er} jet		SIROP d'égout non filtré					
densité	SUCRE	CaO	alcalinité	densité	sucro	volume	sucro	numéro	SUCRE	SOLS	EAU	coefficients	Quantité produite		analyse	pois	densité	sucro	volume	
													P.	V.						

I - LABORATOIRE

JUS de carbonatation (p. volume)			JUS de 2 ^e carbonatation (en volume)				ANALYSE du gaz carbonique	ÉCUMES (en poids)			JUS FILTRÉ			EAU de lavage des filtres		NUMÉROS DES FILTRES
sucrose	CaO	non sucre	densité	sucrose	non sucre	alcalinité		sucrose	eau	matière sèche	densité	sucrose	alcalinité	volume	sucrose	

- LABORATOIRE

saccharimètre	MASSE CUITE 2 ^e JET			TURBINAGE 2 ^e JET					EAU DE LAVAGE des filtres	MASSE cuite 3 ^e jet (Comme pour 1 ^{er} jet)	TURBINAGE 3 ^e jet (Comme pour 1 ^{er} jet)	
	numéro	analyse	Quantité produite	numéro du bac	Sucre		STROP non filtré					
					P.	V.	analyse	poids				densité

CHEF DE FABRICATION.

NOVEMBRE	BETTERAVES travaillées		COSETTES		JUS				CHAUX		NOIR ANIMAL ou soufre				
	poids	sucre total	poids	sucre total	Nombre de chaudières	volume réel	volume 0/0 de betteraves	sucre total	perte de sucre 0/0 de betteraves	brute fondue	réelle employée	Poids employés dans les filtrations			pour 100 de betteraves
												1	2	3	

CHEF DE FABRICATION

BETTERAVES		FRAIS DE FABRICATION							ENTRETIEN		AMORTISSEMENT du capital	DÉPENSES totales
poids	prix total	DÉPENSES DIVERSES			PERSONNEL				matériel	immeuble		
		chaux	charbon	huile et divers	ouvriers	employés au mois	employés à l'année	direction				

CONTROLE GÉNÉRAL DE LA FABRICATION

Kilogrammes de sucre	MASSE cuite			SUCRE obtenu			RENDEMENT TOTAL DU SUCRE EN 100°	MÉLASSE		PERTE de sucre		RENDEMENT 0/0 DE BETTERAVES					COMBUSTIBLE brûlé		
	Poids total			Poids total				poids	sucre	calculée	due à des causes inconnues	Masse cuite			sucre en 10°/0	mélasse	portés	total	0/0 kil. de betteraves
	1	2	3	1	2	3						1er jet	2e jet	3e jet					

- RÉSULTATS GÉNÉRAUX

Kilogrammes de sucre	POIDS du sucre fabriqué évalué ou 100°	PRIX de revient du sucre fabriqué	PRIX DE REVIENT		PULPE et déchets - Prix de vente	RECETTES totales	BÉNÉFICE	
			SUCRE	mélasse			total	0/0 kil. de sucre

LIVRE QUATORZIÈME

INSTALLATION GÉNÉRALE DES SUCRERIES

Dans notre première édition nous avons donné le plan d'une sucrerie installée suivant les idées de l'époque.

Cette fois nous préférons représenter deux sucreries, l'une française, l'autre autrichienne, construites avec les derniers perfectionnements du moment (1891-92). Comme elles ne comportent pas la cristallisation en mouvement, nous y avons joint une installation de ce système.

Ces deux sucreries agencées suivant des méthodes absolument différentes, avec des appareils qui ne se ressemblent pas, offrent au lecteur le contraste de l'esprit des constructeurs des deux grands pays sucriers.

Nous avons préféré donner la description d'une sucrerie autrichienne plutôt que celle d'une sucrerie allemande, parce que la Bohême est le pays où les constructeurs s'ingénient le plus à créer du nouveau qui soit en harmonie avec les besoins les plus scientifiques de la fabrication ; c'est de Bohême que nous viennent la plupart des innovations qui s'introduisent dans nos sucreries françaises sous des noms divers, et l'Allemagne est bien loin en arrière pour la perfection de son outillage.

Nous pensons donc que ces exemples seront instructifs pour nos lecteurs qui n'ont pas la chance de pouvoir voyager pour connaître sur place la différence d'outillage des différents pays.

Planche 1. — Sucrerie de Coucy-les-Eppes (Aisne).

Cette usine, construite en 1891, sort entièrement des ateliers de la Maison Mariolle-Pinguet et fils (de Saint-Quentin). Seuls les appareils de réception, lavage et pesage de la betterave, ainsi que le coupe-racines ont été fournis par la Maison Maguin (de Charmes).

La sucrerie de Coucy-les-Eppes a été construite en vue de travailler 300.000 kilogrammes de betteraves par 24 heures, mais possède les éléments pour pouvoir augmenter considérablement sa production.

La diffusion est composée de 14 vases de 36 hectolitres. La vidange des diffuseurs se fait par en dessous au moyen de larges portes équi-

brées avec vis de rappel. Les calorisateurs sont tubulaires à grande surface de chauffe, et placés à l'intérieur de la batterie. Celle-ci est circulaire, et le coupe-racines est très puissant de manière à perdre le moins de temps possible à l'emplissage des diffuseurs.

La cossette épuisée est rejetée sur un plancher en tôle perforée où elle s'égoutte, puis poussée à bras d'homme sur une vis placée au-dessous et qui l'amène au monte-cossettes. Celui-ci est à double chaîne avec charpente en fer.

La cossette est alors entraînée par une nouvelle vis dans cinq presses Klusemann perfectionnées, sous lesquelles une vis sans fin l'entraîne sur un élévateur à courroie afin de la porter au magasin à pulpe.

La machine qui met tout cela en mouvement est à détente fixe et a 420 de diamètre et 800 de course.

Le jus de diffusion est reçu dans un bac-mesureur unique de 36 hectolitres sur lequel est installé un *contrôleur-mesureur automatique système Horsin-Déon*.

De là, les jus tombent dans un bac-malaxeur de 50 hectolitres où ils sont chaulés, et refoulés ensuite par une pompe à la première carbonatation. Sur leur trajet ils passent à travers trois réchauffeurs qui les portent à 85° ou 90°. Ces réchauffeurs imaginés par *Horsin-Déon* reçoivent la vapeur du deuxième corps du quadruple-effet selon le procédé Rillieux que nous expliquerons plus loin.

La première carbonatation est formée de quatre chaudières de 3^m × 3^m avec 4 mètres de hauteur, surmontées d'une hotte et d'une cheminée de 1 mètre de diamètre. Le trou d'homme, les robinets de gaz, de jus, de vidange, de jauge et d'échantillonnage sont sur le devant de la batterie; ainsi qu'un niveau à tube de verre sur chaque bac. La grande hauteur des chaudières rend les émousseurs inutiles.

Les jus carbonatés sont reçus dans un collecteur qui dessert toutes les chaudières, puis dans un tamiseur-épierreur, enfin dans un bac d'attente où puise la pompe à écumes.

Les pompes à écumes sont horizontales, et l'on y remarque des dispositions fort ingénieuses qui font honneur au constructeur. Leur marche est irréprochable. Nous en reparlerons à la fin.

Les filtres-presses sont du système Mariolle-Pinguet que nous avons décrit dans le corps de cet ouvrage, à 30 tourteaux et cadres de 800 millimètres. Le lavage des tourteaux se fait au moyen d'une pompe spéciale.

Les jus clairs sont reçus dans un bac malaxeur de 200 hectolitres; chaulés et refoulés par une pompe à la deuxième carbonatation, en traversant deux réchauffeurs chauffés par le premier corps du quadruple-effet d'où ils sortent à 100° environ.

Les chaudières de deuxième carbonatation sont semblables à celles de première.

Le jus en sort par un collecteur traversant encore un tamiseur-épierreur et sont repris par une pompe à écumes et refoulés aux filtres-presses.

Les jus clairs traversent des filtres-mécaniques à 30 cadres et arrivent enfin au bac d'attente du quadruple-effet.

Le four à chaux est à 6 foyers, avec une capacité de 50 mètres cubes. Le calcaire est élevé au gueulard au moyen d'un monte-charges à plateau avec cage à croisillons.

La soufflerie de gaz carbonique a 1^m,050 de diamètre et 800 de course.

Le lait de chaux, malaxé, est envoyé par une pompe à piston plongeur spécialement construite pour cet usage dans des bacs d'attente de 8 hectolitres qui surmontent les malaxeurs de première et deuxième carbonatation.

L'évaporation est à quadruple-effet avec chauffages à effets-multiples suivant des indications de Rillieux.

Les quatre caisses sont verticales, surmontées de leur ralentisseur, vertical lui-même.

La première caisse chauffe les réchauffeurs de deuxième carbonatation, et de plus deux réchauffeurs que traverse le jus filtré avant d'entrer dans l'appareil, ainsi qu'un autre réchauffeur pour le sirop. Tous ces liquides arrivent facilement à 100°, la vapeur du premier corps étant à 105° ou 106°.

Cette première caisse chauffe en outre la deuxième caisse, ainsi que la chaudière à cuire.

Dans la deuxième caisse, la vapeur est à 95° environ. Elle chauffe les réchauffeurs de première carbonatation et la diffusion ainsi que la troisième caisse.

Ainsi, tous les jus de l'usine sont chauffés à des températures telles qu'ils n'ont pas besoin d'être réchauffés dans les chaudières de carbonatation qui sont dénuées de tout serpentín ou injection de vapeur.

Le premier corps a besoin d'un excédent de vapeur assez considérable. Il est fourni par une soupape *Dulac*, construite spécialement pour cet usage par l'inventeur sur les données d'Horsin-Déon.

Les retours d'eau condensée des quatre corps et des réchauffeurs se font dans des boîtes à flotteur système Rillieux, et sont repris par des pompes actionnées par la pompe à air. La pompe à jus et la pompe à sirop de la quatrième caisse sont aussi actionnées par la pompe à air.

La vapeur de la quatrième caisse traverse un réchauffeur vertical pour l'eau de la diffusion qui est portée à 40° environ, et ensuite se rend dans

un grand condenseur placé près de la pompe à air. Celle-ci a 760 millimètres de diamètre et 800 de course, et est d'un effet très puissant.

La chaudière à cuire est verticale. Elle a 200 hectolitres de capacité, et possède six serpentins représentant 100 mètres carrés, en vue du chauffage à effets multiples. La porte de vidange a 1 mètre de diamètre avec joint hydraulique; elle est à bascule et se meut au moyen d'une vis et d'un volant. Cette grande ouverture ainsi que la forme conique du fond permet une vidange de la masse aussi rapide que l'on veut.

La pompe à air très puissante a 760 de diamètre et 800 de course.

La cuite se déverse provisoirement dans des bacs qui doivent être remplacés par des malaxeurs.

De ces bacs, elle est pelletée dans un broyeur, d'où elle est reprise par une pompe à masse-cuite verticale puissante qui la refoule dans le distributeur des turbines.

Les turbines sont au nombre de huit. Les égouts sont repris par une pompe montée sur le même bâti que la pompe à masse cuite.

Le clairçage des sucres dans les turbines se fait à l'air chaud.

Une petite chaudière à cuire, placée à côté de la grande, est affectée spécialement aux arrières-produits.

Les emplis contiennent 15 bacs de 5^m,800 de diamètre et 3^m,300 de hauteur, desservis par un chemin de fer aérien avec bennes de chargement.

Les générateurs, au nombre de 6, sont semi-tubulaires de 175 mètres carrés de surface de chauffe, ils sont montés derrière la carbonatation, de sorte que le tuyau principal débouche presque dans l'axe de l'usine, desservant par une tuyauterie simple et courte toutes les machines placées sur un seul rang dans le hall principal et facilement abordables de tous côtés.

Si l'on jette les yeux sur la vue en plan, on trouve les machines suivantes : d'abord les trois pompes nécessaires au service des écumes, soit une pompe pour les lavages, et deux pompes à écumes pour la première et deuxième carbonatation. Ces pompes se distinguent par ce fait que les pistons plongeurs qui les composent sont entièrement enfermés dans le corps de pompe, et que la tige seule en sort par un petit presse-étoupe. Le calfat y est lui-même formé par un cuir embouti, ce qui assure une étanchéité parfaite.

La suppression des grands calfats qui est la plaie des pompes à écume est une excellente disposition.

Puis viennent les deux pompes d'alimentation des générateurs construites aussi sur un modèle nouveau. Le mouvement des pistons plongeurs est donné par des tiges raccordées sur la crosse de la tige du

piston-moteur, en sorte que l'action est directe et ne fatigue pas le presse-étoupe.

Ensuite on voit la pompe à gaz qui actionne en même temps les deux pompes desservant la première et la deuxième carbonatation.

Puis la pompe à air du quadruple-effet portant la pompe à jus qui l'alimente, et celles qui sont nécessaires pour les retours et le sirop de quatrième corps.

La pompe à air de la grande cuite vient ensuite, munie d'une pompe pour le sirop filtré.

La suivante est la pompe à air de la petite cuite.

Enfin, vient la machine des turbines.

L'usine est éclairée à la lumière électrique produite par un moteur spécial non représenté sur le plan.

Comme cette usine, pas plus que la suivante, ne comportent la cristallisation en mouvement, nous donnons ci-après le dessin d'une installation de ce système faite en France.

**Planche 2. — Installation de la cristallisation en mouvement
à la Sucrierie de Pithiviers**

PAR LA MAISON MARIOLLE-PINGUET ET FILS

Les chaudières à cuire horizontales, système Lexa-Héroid, sont sur le plancher du deuxième étage de la salle des turbines.

Au-dessous se trouve une grande nochère munie d'une hélice dans le fond, et dans laquelle se vident les chaudières à cuire.

Cette nochère est placée en travers des cristallisoirs en mouvement tous placés côte à côte et au nombre de huit. Au-dessus de chaque cristallisoir la nochère porte une vanne mue par un volant qui permet de vider les cuites dans le cristallisoir qui doit être mis en service.

Les cristallisoirs sont sur un plancher placé au-dessus du niveau des turbines, et se vident dans la nochère qui dessert toutes les turbines, lesquelles sont placées en une seule ligne au nombre de 17.

Cette installation correspond à un travail de 700.000 kilogrammes de betteraves environ.

Planche 3. — Sucrierie de Cakovic (Bohême)

La fabrique que nous allons décrire appartient à MM. Schøeller et C^o et a été construite en 1892 par les soins de la Maison Breitfeld-Danek, de Prague, pour un travail de 500.000 kilos. Le bâtiment a été construit

assez vaste pour pouvoir recevoir le supplément de matériel projeté pour doubler le travail actuel et le porter à un million.

C'est un vaste hall sous lequel se fait tout le travail jusqu'à la cuite. Celle-ci est dans un pavillon qui fait suite et s'élève en hauteur pour pouvoir établir toutes les opérations en cascade, malaxage, turbinage et vidange des sucres.

Le lavage des betteraves est séparé du reste de l'usine par un mur ainsi que le transport des écumes et des pulpes, isolant ainsi les causes de refroidissement des autres ateliers.

Les betteraves sont amenées par un transporteur hydraulique directement dans un laveur à bras *Machensen* et tombent de celui-ci dans un élévateur vertical, qui transporte les betteraves lavées sur un plan incliné desservant deux coupe-racines à moteur direct.

L'eau sale sortant du laveur tombe dans un vaste égout où la boue se décante, tandis que l'eau propre est reprise par une roue à aubes qui la renvoie dans un canal d'où elle sert de nouveau au transporteur hydraulique. De temps en temps, on fait écouler la boue en ouvrant une écluse qui la conduit dans des endroits spéciaux où elle est désinfectée.

L'eau des diffuseurs tombe dans le même égout, et c'est elle qui sert à entretenir le transporteur.

Les deux coupe-racines jettent les cossettes sur un court transporteur à courroie en caoutchouc qui les déverse dans des wagonnets servant à remplir les diffuseurs. Il y a quatre de ces wagonnets contenant chacun 625 kilogrammes de cossettes. Ils roulent sur des rails suspendus au-dessus de la batterie, et se vident par en dessous directement dans les diffuseurs. Un système est organisé de manière à pouvoir peser chaque wagonnet.

La batterie se compose de 16 diffuseurs de 50 hectolitres placés sur deux lignes parallèles, et qui vident leurs cossettes épuisées dans un canal maçonné à plan incliné. Elles s'écoulent ainsi seules et sans mécanisme dans un fossé où elles sont reprises par un élévateur incliné, et deversées dans deux presses à cône du système Selwig et Lange de 1^m,800 de diamètre. Des presses, les cossettes tombent dans des wagonnets et sont conduites, sur un pont puis rejetées dans des wagons ou dans des réservoirs maçonnés situés en contre-bas du niveau du sol.

Les diffuseurs sont munis de calorificateurs de dix mètres carrés de surface de chauffe qui reçoivent la vapeur du quadruple-effet.

Le jus provenant de la diffusion passe par un filtre *Mik* et, de là, est reçu dans deux mesureurs.

Au sortir des mesureurs, les jus sont dirigés à travers deux réchauffeurs dans deux malaxeurs où ils sont chaulés, puis de là dans les chau-

dières de première carbonatation. Les réchauffeurs ont chacun 254 mètres carrés de surface de chauffe et reçoivent la vapeur du deuxième corps du quadruple-effet. Ils sont ouverts à la partie supérieure pour permettre le nettoyage en marche.

La circulation dans les réchauffeurs, les malaxeurs et les bacs de carbonatation se fait par simple différence de niveau.

Les chaudières de première carbonatation sont au nombre de 5, ayant 1^m,900 de façade, 3 mètres de longueur et 7 mètres de hauteur. Chacune est munie d'une cheminée traversant le toit. On les remplit avec 110 hectolitres de jus, de telle sorte que les deux tiers de la hauteur restent réservés aux mousses.

Le four à chaux, qui n'est pas représenté sur notre dessin, est du système *Neumann*, il fournit 20.000 kilogrammes de chaux par 24 heures.

Un élévateur à transmission monte le calcaire sur la plateforme du four. Le laveur à gaz du système *Neumann* est à étages et est suivi d'un second laveur système *Karlík*.

La machine à gaz, système *Breitfeld-Danek* est jumelle et construite pour une marche rapide. Ses tiroirs à l'aspiration sont rotatifs pour égaliser les espaces nuisibles, et le refoulement se fait par clapets. Les deux cylindres à gaz ont 700 de diamètre et 800 de course. Pour un travail de 500.000 kilogrammes, un seul cylindre suffit.

La préparation du lait de chaux se fait dans un petit bâtiment à part d'après le système *Mik*. Il passe par deux tamis dans deux décanteurs, puis dans deux malaxeurs d'où l'extraient deux pompes à transmission, pour les refouler dans un réservoir au service de la carbonatation.

Le jus carbonaté tombe dans un bac et, de là, est aspiré par une pompe à écumes en traversant un petit filtre, et est refoulé dans cinq filtres-presses *Kroog*.

Chacun de ces filtres-presses se compose de 36 cadres avec une surface filtrante de 48 mètres carrés.

Pour épuiser les écumes on se sert d'eau chaude sous une pression de 2 atmosphères.

Le jus filtré passe ensuite par un réchauffeur de 110 mètres de la même construction que les premiers, et qui est chauffé par le deuxième corps du quadruple-effet, et, de là, coule dans la deuxième carbonatation.

De la deuxième carbonatation le jus tombe dans un bac d'où une pompe à écumes le refoule dans sept petits filtres-presses *Dehne* de 15 mètres carrés de surface filtrante.

Ce jus s'écoule ensuite à la troisième carbonatation composée de trois chaudières semblables à celles de la deuxième, et ensuite est filtré dans

trois filtres mécaniques *Breitfeld-Danek* de 45 mètres carrés de surface filtrante chacun.

Enfin le jus ainsi filtré passe encore dans un réchauffeur vertical ouvert, semblable aux précédents, de 125 mètres carrés de surface de chauffe, chauffé par la vapeur du premier corps, où il entre en ébullition pour détruire les bicarbonates qui ont pu se former à la troisième carbonatation. Il se déverse dans un bac à serpentins dans le cas où cette ébullition aurait paru insuffisante, puis est de nouveau filtré dans deux filtres *Breitfeld-Danek* de 45 mètres, d'où le reprend la pompe d'alimentation du quadruple-effet.

L'évaporation se fait à quadruple-effet en combinaison, comme nous venons de le voir, avec les chauffages à effets multiples selon le procédé Rillieux-Lexa.

Les quatre caisses sont horizontales et munies de vases de sûreté ralentisseurs placés par-dessus.

La première caisse a 440 mètres, avec quatre circulateurs de 15 mètres carrés de surface de chauffe. Elle chauffe, outre la deuxième caisse, les deux chaudières à cuire, le réchauffeur après troisième carbonatation et les seize calorisateurs de la diffusion. —

La deuxième caisse a 460 mètres. Sa vapeur est employée à faire bouillir la troisième caisse, et, en outre, elle alimente les réchauffeurs avant première et deuxième carbonatation.

La vapeur de la quatrième caisse s'échappe dans un condenseur à contre-courant système Lexa. Une pompe à air sèche aspire l'air du condenseur.

Cette pompe à air, système Breitfeld-Danek, est jumelée. Elle a deux cylindres à vapeur de 500 de diamètre et 800 de course et deux corps de pompe de 700 de diamètre et 800 de course. Ces derniers ont des tiroirs rotatifs à l'aspiration et des clapets pour le refoulement.

Sur les tiges de piston prolongées, sont attachées deux pompes à eau verticales à double-effet de 425 de diamètre et 300 de course, servant à l'alimentation du bac à eau du condenseur. L'eau en sortant de la colonne barométrique est refroidie dans des étangs et revient ensuite à ces pompes.

L'une des pompes à air sert à l'évaporation et l'autre aux cuites.

La quatrième caisse de l'appareil d'évaporation présente une particularité dont nous avons déjà parlé dans le corps de l'ouvrage. Elle est divisée en deux parties complètement séparées par une cloison verticale. De la première partie une pompe aspire le sirop qui est à 26 Baumé environ et le refoule dans un réservoir à serpentins d'où il s'écoule dans

deux filtres Danek. Puis ce sirop est aspiré de nouveau dans le deuxième compartiment de la même caisse pour être porté à 32° ou 35° Baumé. A cette densité il est repris par une nouvelle pompe, réchauffé, filtré de nouveau sur deux filtres Breitfeld-Danek et enfin tombe dans les réservoirs d'alimentation des cuites.

Les eaux condensées de tous ces appareils s'écoulent dans des boîtes à flotteur système Rillieux et sont reprises par des pompes à eaux ammoniacales pour les différents besoins de l'usine.

Les deux chaudières à cuire ont 114 mètres carrés de surface de chauffe. Elles sont du système *Lexa*. Elles peuvent contenir 30.000 kilos de masse cuite. Elles sont chauffées au moyen des vapeurs du premier et du deuxième corps du quadruple-effet. La condensation des vapeurs s'exécute dans deux condenseurs successifs, l'un à injection parallèle, l'autre à contre-courant. Les gaz sont repris par l'un des cylindres de la pompe à air.

La masse cuite tombe dans deux bacs refroidisseurs ayant la capacité chacun d'une chaudière. Entre les deux bacs est placée une hélice qui transporte la masse cuite dans une autre hélice transversale l'entraînant au moulin-diviseur.

La masse tombe du moulin, au moyen d'une porte, dans des bacs roulant sur une voie suspendue au-dessus des turbines, dans chacune desquelles ces bacs se déversent par en dessous.

Les douze turbines sont du système *Fesca* avec vidange par en dessous. Le sucre produit tombe dans un entraîneur à hélice qui le déverse dans une trémie au-dessous de laquelle on le reçoit dans des sacs ou des wagonnets pour être transporté au magasin.

Dans la même salle se trouve une grande machine ayant 700 millimètres de diamètre et 1^m,100 de course qui met en mouvement les turbines et les mélangeurs divers de l'usine au moyen de câbles actionnant des transmissions.

Les générateurs, placés derrière l'usine, sont du système *Fairbairn*, et ont chacun 200 mètres de surface de chauffe, donnant de la vapeur à 6 atmosphères.

L'usine est pauvre en eau. Toute celle dont on dispose est envoyée aux condenseurs. Sortant de là on la refroidit à 25° et on s'en sert pour la diffusion. Ce qui est en trop est envoyé dans un étang et refoulé de nouveau à la condensation.

Enfin une machine spéciale fournit la lumière électrique à toute l'usine.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos de la première édition (1882)	v
Rapport de M. Aimé Girard à la <i>Société d'Encouragement</i> sur le <i>Traité</i> de Sucrierie de M. Horsin-Déon (1883)	vii
Avant-propos de la deuxième édition (1900).	x
Préface de l'éditeur	xii

INTRODUCTION

BETTERAVES. — Origines, espèces et leur rendement, formation du sucre dans la betterave	1
--	---

LIVRE PREMIER

Étude des transformations chimiques des liquides sucrés pendant
la fabrication.

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDE ÉLÉMENTAIRE DE LA BETTERAVE

§ 1. — COMPOSITION DE LA BETTERAVE	13
§ 2. — LES SUCRES	15
Phénylhydrazine	19
Réactions colorées des sucres	20
<i>Sucre de canne ou saccharose</i>	23
Sucrates (de baryte, de strontiane, de chaux, hydrosucro- carbonates, sucrocarbonates, sucrate de plomb)	26
Combinaison du sucre avec les sels	46

HORSIN-DÉON

68

§ 2. — LES SUCRES (<i>suite</i>).	
<i>Glucose ou dextrose</i> (composés du glucose, glucose inactif).	48
<i>Lévilose</i>	50
<i>Sucre interverti, sucre neutre</i>	51
Pouvoir rotatoire des sucres.	61
Fermentations des sucres.	65
<i>Raffinose</i>	67
<i>Saccharine</i>	68
Mannite, mucilages et gommés, arabinose.	69
§ 3. — MATIÈRES ORGANIQUES	70
<i>Matières organiques non azotées</i>	
Pectose (et produits pectiques)	73
Acide glucique et apoglucique	75
Acide malique, lactique, citrique, oxalique, acétique	76
Matières ulmiques et humiques.	77
Assamare	77
<i>Matières organiques azotées</i>	
Protéine, albumine, caséine, asparagine, bétaine, peptones.	78
§ 4. — MATIÈRES MINÉRALES	82

CHAPITRE DEUXIÈME

TRANSFORMATIONS CHIMIQUES DE LA BETTERAVE PENDANT LA FABRICATION

§ 1. — GÉNÉRALITÉS	84
§ 2. — L'EAU	85
§ 3. — LES SUCRES.	86
§ 4. — MATIÈRES ORGANIQUES. — <i>Matières pectiques, acides organiques, matières organiques azotées.</i>	89
§ 5. — ACTION DE L'ACIDE CARBONIQUE SUR LES JUS CHAULÉS,	90
§ 6. — ACTION DE L'ACIDE SULFUREUX SUR LES JUS ET SIROPS. — <i>Propriétés générales de l'acide sulfureux, réactions de l'acide sulfureux dans les liquides sucrés</i>	104
§ 7. — ACIDE HYDROSULFUREUX. — <i>Constitution et réactions.</i>	115

LIVRE DEUXIÈME

Culture de la betterave et des porte-graines

CHAPITRE PREMIER

CULTURE DE LA BETTERAVE

§ 1. — CONTRATS. — <i>Achat de la betterave au poids et à la densité</i>	121
§ 2. — TERRE A BETTERAVES	129

§ 3. — ENGRAIS. — Généralités, fumier, engrais végétaux, engrais animaux, guanos, engrais minéraux, composts	133
§ 4. — PRÉPARATION DE LA TERRE ET RÉCOLTE DE LA BETTERAVE. — Fumure, Assoulements, semailles	150

CHAPITRE DEUXIÈME

SÉLECTION DE LA BETTERAVE

§ 1. — GÉNÉRALITÉS	160
§ 2. — GRAINES DE BETTERAVES	162
§ 3. — ANALYSE DES PORTE-GRAINES	165
§ 4. — ECART DES RACINES.	172
§ 5. — SEMENCE.	173
§ 6. — FAÇONS	173
§ 7. — RÉCOLTE.	175
§ 8. — RÉSUMÉ	175
§ 9. — PRIX DE REVIENT DE LA BETTERAVE.	177

CHAPITRE TROISIÈME

RÉCEPTION DE LA BETTERAVE

§ 1. — TRANSPORTS. — Voitures, câbles, chemins de fer, etc.	184
§ 2. — CONSERVATION DE LA BETTERAVE. — Échauffement, étouffement, évaporation, silos	188

LIVRE TROISIÈME

Extraction du jus de la betterave.

CHAPITRE PREMIER

RÉCEPTION DES BETTERAVES A L'USINE

§ 1. — RÉCEPTION	193
§ 2. — MAGASINS A BETTERAVES	194
Transporteur hydraulique.	196
Élévateurs	197
Laveurs	201
Épierreurs	203
Appareils divers, secoueurs	204
§ 3. — PESAGE DE LA BETTERAVE	207

CHAPITRE DEUXIÈME

§ 1. — GÉNÉRALITÉS	211
------------------------------	-----

§ 2. — DIFFUSION	212
<i>Batterie en ligne</i> , bacs, réchauffeurs, calorisateurs, coupe- racines, enlèvement des cossettes	215
<i>Batterie circulaire</i> , coupe-racines, couteaux et leur affûtage.	226
§ 3. — CONDUITE DE LA DIFFUSION. — Température de la batterie, propor- tions à donner aux diffuseurs, résistance de la batterie, hauteur du bac à eau, batterie coupée.	241
Remarques sur les différents organes de la batterie	253
Contrôleur-mesureur-automatique, échantillonneur	260
§ 4. — PROCÉDÉS CHIMIQUES EMPLOYÉS DANS LA DIFFUSION	265
§ 5. — PRESSES A COSSETTES. — Dessiccation des cossettes	268
§ 6. — COMPOSITION COMPARÉE DES RÉSIDUS DES DIFFÉRENTS MODES D'EXTRACTION	274
§ 7. — COMPOSITION COMPARÉE DES JUS SUIVANT LES DIFFÉRENTS MODES D'EXTRACTION	278
§ 8. — TRANSPORT DU JUS DANS LES TUYAUX LINARD	283
§ 9. — EAUX RÉSIDUAIRES	288

LIVRE QUATRIÈME

Épuration du jus de betterave.

CHAPITRE PREMIER

DÉFÉCATION

293

CHAPITRE DEUXIÈME

CARBONATATION

§ 1. — GÉNÉRALITÉS	297
§ 2. — TRAVAIL DU JUS DE PRESSE PAR DOUBLE CARBONATATION	299
§ 3. — TRAVAIL DU JUS DE DIFFUSION PAR DOUBLE CARBONATATION. — Première, deuxième et troisième carbonatation.	301
§ 4. — ÉLIMINATION DES IMPURETÉS DU JUS PENDANT LA CARBONATATION	306

CHAPITRE TROISIÈME

APPAREILS EMPLOYÉS A LA CARBONATATION

§ 1. — MONTE-JUS. — Monte-jus ou pompe	308
§ 2. — CHAUDIÈRES A CARBONATER ET A DÉCANTER. — Émousseurs, carbonatation continue, décantation	311
§ 3. — MÉTHODES DIVERSES DE CHAULAGE.	320
§ 4. — TITRAGE DU LAIT DE CHAUX. — Balance de Cerny-Stole	323
§ 5. — TITRAGE DE L'ALCALINITÉ	327

CHAPITRE QUATRIÈME

ACIDE SULFUREUX

§ 1. — GÉNÉRALITÉS	330
§ 2. — SULFURATION. — Jus brut, jus carbonaté, sirops, égouts, conclusion.	331
§ 3. — PROCÉDÉ RANSON	338
§ 4. — FOURS ET POMPES A ACIDE SULFUREUX. — Analyse du gaz sulfureux, soufre, appareils producteurs d'acide sulfureux, pompes de compression, accessoires	343

CHAPITRE CINQUIÈME

PROCÉDÉS DIVERS DE FABRICATION

§ 1. — GÉNÉRALITÉS	385
§ 2. — EMPLOI DE LA BARYTE SUR LE JUS	389
§ 3. — FLUATION	390
§ 4. — PROCÉDÉ HIGNETTE	391
§ 5. — TRAITEMENT ÉLECTRIQUE DES JUS ET SIROPS. — Théorie, procédés divers d'électrolyse et d'electrodialyse.	393

LIVRE CINQUIÈME

Filtration.

CHAPITRE PREMIER

TRAVAIL DES BOUES ET DES ÉCUMES

§ 1. — FILTRATION DES BOUES	420
§ 2. — ÉPUISEMENT DES ÉCUMES	425
§ 3 et 4. — FILTRES-PRESSES.	431
§ 5. — POMPES A ÉCUMES	441

CHAPITRE DEUXIÈME

FILTRATION MÉCANIQUE

§ 1. — HISTORIQUE	444
§ 2. — POCHEs PUYREZ	445
§ 3. — FILTRES LOZE ET HÉLAERS	446
§ 4. — FILTRES DIVERS.— Breitfeld-Danek, Kazalowsky, Bouchon, Philippe, Buck, Bouvier	447

§ 5. — ACTION DES BOUES DES FILTRES SUR LES LIQUIDES FILTRÉS	454
§ 6. — APPLICATIONS DE LA FILTRATION MÉCANIQUE.— Jus verts, jus de carbonatation, sirops.	455
Filtration à différentes températures	463
Jus et sirops sulfités	466
Lavage des poches	468

LIVRE SIXIÈME

Chaux et acide carbonique.

§ 1. — FOUR A CHAUX	469
Théorie du four à chaux	471
Fours à chaux à gazogène, Toisoul et Fradet, Fichet et Heurtey, Hignette	479
Fours à chaux sans foyer.	486
Fours à chaux avec injection de vapeur surchauffée	488
Collage des fours à chaux.	489
§ 2. — EXTINCTION DE LA CHAUX.— Lait de chaux, malaxeurs.	490
Installation d'un atelier de fabrication de lait de chaux	494
§ 3. — LAVEUR A GAZ	495
§ 4. — TUYAUTERIE DU GAZ DU FOUR A CHAUX	495
§ 5. — MACHINE A GAZ	496

LIVRE SEPTIÈME

Appareils d'évaporation

CHAPITRE PREMIER

ÉVAPORATION

§ 1. — AVANT-PROPOS	499
§ 2. — HISTORIQUE.	499
§ 3. — APPAREILS A EFFETS MULTIPLES.— Principes généraux.	502
§ 4. — ÉTUDE DE LA VAPEUR.— Formules générales, vapeur saturée, surchauffée, humide, eau vésiculaire, condensation de la vapeur humide, mélange d'air et de vapeur, gaz ammoniacaux	511
§ 5. — CONDENSATION DE LA VAPEUR SUR LES PAROIS DE CHAUFFAGE	528
Étude sur les appareils de condensation, lois de la condensation	529
§ 6. — TRANSMISSION DE LA CHALEUR A TRAVERS LES PAROIS DES APPAREILS D'ÉVAPORATION ET DE CHAUFFAGE	538
§ 7. — RÉCEPTION DU CALORIQUE PAR LE LIQUIDE EN ÉBULLITION	540
§ 8. — VAPORISATION DES LIQUIDES	542

§ 9. — APPLICATION DES FORMULES	546
<i>Remarques.</i> — Températures des vapeurs dans les caisses ; dimensions respectives des caisses ; densités du liquide dans chaque caisse ; chaleur spécifique et poids du liquide à évaporer dans chaque caisse ; températures des liquides, évaporation, chute de températures dans chaque caisse. .	
	546

CHAPITRE DEUXIÈME

CALCUL D'UN APPAREIL D'ÉVAPORATION A TRIPLE-EFFET TRAVAILLANT
4.000 HECTOLITRES DE JUS PAR 24 HEURES

§ 1. — DONNÉES GÉNÉRALES	559
§ 2. — CALCUL DES ÉLÉMENTS DE L'APPAREIL. — Conduites de vapeur, calcul de la pompe à air et du condenseur, calcul des tuyaux de jus	561
§ 3. — DESCRIPTION SOMMAIRE D'UN TRIPLE-EFFET VERTICAL. — Pompe à air, ré- chauffeur.	573
§ 4. — REMARQUES GÉNÉRALES SUR LA CONSTRUCTION ET LA MARCHÉ D'UN TRIPLE-EFFET. — Vapeur directe, eaux condensées, gaz, condenseur, circu- lation de vapeur, chicanes	584
§ 5. — RALENTISSEURS ET VASES DE SURETÉ.	592
6. — CONDENSEURS AVEC COLONNES BAROMÉTRIQUES	601
§ 7. — POMPES A AIR SÈCHES.	606
§ 8. — EAU D'INJECTION. — Refroidisseurs	609
§ 9. — CHAUDIÈRES HORIZONTALES.	611
§ 10. — COMPARAISON ENTRE LES CHAUDIÈRES VERTICALES ET HORIZONTALES	617
§ 11. — APPAREILS A RUISSELLEMENT	628
§ 12. — APPAREILS A EFFETS MULTIPLES CONJUGUÉS AVEC LES CHAUFFAGES	635
Système Pauli	646
Réchauffeurs	647
Indicateurs de vide	651
§ 13. — PROCÉDÉ P. PICCARD.	654
§ 14. — INCRUSTATIONS DES APPAREILS D'ÉVAPORATION. — Filtration entre caisses, nettoyages des caisses.	665
§ 15. — TABLES DE VAPEUR. — Régnault et Gay-Lussac, Zeuner	666
§ 16. — APPAREILS DIVERS	671
§ 17. — ENTRAÎNEMENTS DU SUCRE DANS LES VAPEURS	672

LIVRE HUITIÈME

Travail de la masse cuite

CHAPITRE PREMIER

CUITE EN GRAINS

§ 1. — GÉNÉRALITÉS. — Cuites acides, vapeurs nitreuses	675
§ 2. — CHAUDIÈRES A CUIRE.— Chaudières verticales, à grande surface de chauffe, chaudières horizontales	679
§ 3. — CONDUITE DE LA CUITE EN GRAINS.	690
§ 4. — PHÉNOMÈNES QUI SE PASSENT PENDANT LA CUITE	701
5. — APPAREIL A CUIRE AUTOMATIQUE DE DELAVIERRE	703

CHAPITRE DEUXIÈME

LA CRISTALLISATION EN MOUVEMENT

§ 1. — HISTORIQUE	706
§ 2. — PHÉNOMÈNES THERMIQUES	707
§ 3. — SURSATURATION	708
§ 4. — INFLUENCE DES SELS	710
§ 5. — VISCOSITÉ	712
§ 6. — ÉTUDES DE CLAASSEN	716
§ 7. — CONDUITE DE LA CRISTALLISATION EN MOUVEMENT	720
§ 8. — PARTIE PRATIQUE. — Procédés Stammer-Bock, Hücke et Lauke, Raeymaeckers, Manoury, Abraham, Reboux, Grossé	731
§ 9. — EFFET UTILE DES CRISTALLISOIRS	748
§ 10. — RÉSUMÉ	750
§ 11. — CONCLUSIONS	753

LIVRE NEUVIÈME

Clairçage

CHAPITRE PREMIER

TURBINAGE

§ 1. — HISTORIQUE	755
§ 2. — BACS A MASSE-CUITE	756
§ 3. — MOULINS DIVISEURS	756

TABLE DES MATIÈRES

1081

§ 4. — TEMPÉRATURE A LAQUELLE ON DOIT TURBINER	757
§ 5. — CAISSES SCHUTZENBACH	758
§ 6. — TURBINES. — A mouvement en dessus et en dessous, turbines Weston, turbines continues	759
§ 7. — CONDUITE DU TURBINAGE	766
§ 8. — DISTRIBUTEURS DE MASSE-CUITE	772
§ 9. — SUCRE DE PREMIER JET	774
§ 10. — CUITE DE DEUXIÈME JET	775
§ 11. — CUITE DE TROISIÈME JET	777
§ 12. — MÉLASSE. — Nature de la mélasse	779
§ 13. — RENDEMENTS	783

CHAPITRE DEUXIÈME

PROCÉDÉS NOUVEAUX DIVERS

§ 1. — PROCÉDÉ STEFFEN-RAEYMAECKERS	786
§ 2. — PROCÉDÉ DE CRISTALLISATION RAPIDE DUFAY	787
§ 3. — PROCÉDÉ « SIMPLEX »	790

LIVRE DIXIÈME

Extraction du sucre des mélasses.

§ 1. — GÉNÉRALITÉS	793
§ 2. — OSMOSE. — Osmogènes, osmogène évaporateur.	794
§ 3. — PROCÉDÉS DIVERS. — Baryte et chaux, procédé Nugues.	806
§ 4. — ELUTION.	809
§ 5. — PROCÉDÉ MANOURY A L'ALCOOL	812
§ 6. — SUBSTITUTION	816
§ 7. — SÉPARATION STEFFEN	818
§ 8. — PROCÉDÉS A LA STRONTIANE	826

LIVRE ONZIÈME

Production de vapeur.

CHAPITRE PREMIER

LES COMBUSTIBLES

§ 1. — GÉNÉRALITÉS	831
§ 2. — CALORIMÈTRES	832
Pouvoir calorifique des combustibles.	836
§ 3. — DE LA COMBUSTION.	839

CHAPITRE DEUXIÈME

CONTROLE DES GÉNÉRATEURS

§ 1. — GÉNÉRALITÉS	843
§ 2. — PYROMÈTRES.	843
§ 3. — CALORIMÉTRIE. — Calorimètre de Salleron.	845
§ 4. — TIRAGE DES CHEMINÉES. — Piézomètres, vitesse des gaz dans les conduites.	848
§ 5. — CONTROLE CHIMIQUE. — Appareil Orsat.	853
§ 6. — BATTERIES SCINDÉES	867
§ 7. — OBSERVATION SUR LA DISTRIBUTION DE VAPEUR. — Vapeurs et eaux de retour.	871

LIVRE DOUZIÈME

Calcul des dimensions d'une usine
traitant trois cent mille kilogrammes de betteraves
en 24 heures

877

LIVRE TREIZIÈME

Analyses

Avant-propos	889
------------------------	-----

CHAPITRE PREMIER

DOSAGE DU SUCRE DANS LES LIQUIDES SUCRÉS

TITRE I

Densimétrie.

§ 1. — PRISE DE LA DENSITÉ	891
Balance de Mohr.	892
§ 2. — ARÉOMÉTRIE.	894
Unités de mesure.	895
§ 3. — GRADUATION DES ARÉOMÈTRES. — Aréomètres Baumé, Cartier, aréodensimètres, modules	898
§ 4. — DOSAGE DU SUCRE PAR LES ARÉOMÈTRES.	901
Tables de Dupont, Balling, Gay-Lussac, de correction	903

TITRE II

Saccharimétrie optique.

§ 1. — PARTIE THÉORIQUE	913
§ 2. — SACCHARIMÈTRES. — Appareils de mesure, saccharimètres de Soleil, Duboscq, Laurent, à lumière blanche, table pour l'analyse, saccharimètre Schmidt et Hensch, Wild	922

TITRE III

Dosage du sucre interverti.

§ 1. — PROCÉDÉ CLERGET	941
§ 2. — LIQUEURS ALCALINO-CUPRIQUES.	942
§ 3. — DOSAGE DU RAFFINOSE	951
§ 4. — LIQUEURS DIVERSES.	952
§ 5. — MANIPULATIONS.	953

TITRE IV

Analyse des liquides sucrés

§ 1. — JUS DE BETTERAVE	957
§ 2. — JUS APRÈS TRAVAIL.	962
§ 3. — SIROPS	963
§ 4. — LIQUIDES DIVERS	964

CHAPITRE DEUXIÈME

COMPLÉMENT AUX ANALYSES DES LIQUIDES SUCRÉS

§ 1. — EAU ET MATIÈRE SÈCHE.	966
§ 2. — MATIÈRES MINÉRALES	966
§ 3. — MATIÈRES ORGANIQUES TOTALES	967
§ 4. — SELS AMMONIACAUX	968
§ 5. — MATIÈRES AZOTÉES. — Dosage de l'asparagine	968
§ 6. — DISTINCTION DES SELS	970

CHAPITRE TROISIÈME

ANALYSES DES BETTERAVES, PULPES ET COSSETTES, ÉCUMES, RÉSIDUS, ETC.

§ 1. — BETTERAVES. — Méthodes par digestion alcoolique et aqueuse, méthodes de digestion aqueuse instantanée à froid de Pellet, digestion aqueuse à chaud, quantité de jus contenue dans la betterave	973
§ 2. — COSSETTES DE DIFFUSION	983
§ 3. — ÉCUMES DE CARBONATATION.	985

CHAPITRE QUATRIÈME

ANALYSES DES SUCRES

TITRE I

Analyse commerciale

§ 1. — SUCRE	987
§ 2. — HUMIDITÉ	988
§ 3. — GLUCOSE.	989
§ 4. — CENDRES.	989
§ 5. — MATIÈRES INDÉTERMINÉES	991

TITRE II

Méthodes diverses.

§ 1. — PROCÉDÉ PAYEN. — Procédés Scheibler, Gunning	992
§ 2. — PROCÉDÉ DUMAS	994
§ 3. — PROCÉDÉ PÉLIGOT	994
§ 4. — CALCUL DES RENDEMENTS	995

TITRE III

Analyse des melasses.

§ 1. — HUMIDITÉ	997
§ 2. — SUCRE, GLUCOSE, RAFFINOSE	998
§ 3. — MATIÈRES SALINES	1000
§ 4. — MATIÈRES ORGANIQUES	1001
§ 5. — MOYENNES	1001

CHAPITRE CINQUIÈME

ANALYSES DIVERSES

TITRE I

Analyses des terres arables.

§ 1. — PRISE DE L'ÉCHANTILLON	1004
§ 2. — PREMIÈRES DÉTERMINATIONS MÉCANIQUES.	1004
§ 3. — TRAVAIL CHIMIQUE. — Azote total, ammoniac, acide nitrique, azote des matières organiques, acide phosphorique, etc.	1006

TITRE II

Analyse des engrais

<i>Humidité, azote, matières minérales et végétales.</i>	1011
--	------

TITRE III

Du noir animal.

§ 1. — POUVOIR ÉPURANT	1015
§ 2. — COLORIMÈTRES.— Duboscq, Laurent, Chromoscope, Salleron	1017
§ 3. — COMPOSITION CHIMIQUE DU NOIR	1021
<i>Calcimètres, Scheibler, Maumené, Salleron</i>	1025
§ 4. — RÉSUMÉ DE L'ANALYSE.	1030

TITRE IV

de la chaux.

§ 1. — PIERRE A CHAUX	1032
§ 2. — CHAUX	1033
§ 3. — ACIDE CARBONIQUE, gaz divers.	1034

TITRE V

<i>Eaux de l'usine. — Hydrotimétrie.</i>	1036
--	------

TITRE VI

<i>Manipulations diverses, liqueurs titrées, etc.</i>	1038
---	------

TITRE VII

<i>Vases gradués.</i>	1042
-------------------------------	------

TITRE VIII

Viscosité.

§ 1. — VISCOSITÉ	1048
§ 2. — VISCOSIMÈTRES	1049

CHAPITRE SIXIÈME

CONTROLE ET COMPTABILITÉ INTÉRIEURE DE L'USINE	1054
--	------

LIVRE QUATORZIÈME

Installation générale des sucreries.

Planche I. — SUCRERIE DE COUCY-LES-EPPES (Aisne)	1063
— II. — INSTALLATION DE LA CRISTALLISATION EN MOUVEMENT A LA SUCRERIE DE PITHIVIERS,	1067
— III. — SUCRERIE DE CAKOVIC (Bohême).	1067
Planches I, II et III hors texte.	
Table des matières	1073
Table alphabétique	1087

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

A			
Acétique (acide)	77	92	
Achat des betteraves à la densité		125	
Acide (voir chacun à sa lettre alphabétique).			
Acrose		16	
Affûtage des couteaux.		240	
Air comprimé.	231	258	
Albumine		78	
Alcalinité	327	333	
Alcalimétrie		1038	
Alcools polyatomiques.		17	
Alcool (procédés à l')		386	
Aldoses		17	
Alliages fusibles.		845	
Aluminate de baryte (procédé à l').		388	
Alumine en gelée		1041	
Amidon		23	
Amyloses		23	
Analyses des gaz		854	
Analyse de SO ²		346	
Apoglucique (acide).	75	93	
Arabine	23	70	
Arabinose		70	
Aréomètres (graduation des) .		898	
Aréométrie.		894	
Arrachage de la betterave . . .		175	
Asparagine.	80	969	
Aspartique (acide)		81	
Aspartiques (matières).		98	
Assamare	77	93	
Assolements		153	
Azote (analyse)		1031	
Azote (migration de l')		98	
Azotées (analyse des matières).		968	
— (matières)		94	
B			
Bac à eau (diffusion)	250	879	
Bac mesureur.		259	
Balance Cerny-Stole		323	
Balance de Mohr.		892	
Ballons jaugés		1042	
Baryte	266-385	389	
Baryte (sucrate de).	26	806	
Batterie de diffusion (en ligne).		215	
— — (circulaire)		226	
— — (coupée)		253	
Batterie de générateurs scindée		867	
Bergreen (presses)		269	
Bétaine		81	
Betteraves		1	
— (analyse).		973	
— (graines de)	162	173	
Billons (culture en)		179	
Bioses		17	
Bisulfites		104	111
Brasmoscope		703	
Brix.	548-899	903	
C			
Calcaires (analyse des)		1032	
Calcimètres		1025	
Calorimètres	832	845	
Calorisateurs		221	
Caramel (dérivés du)		25	
Carbonatation.	297	880	
— (continue)		315	
Carbonates de chaux		1032	
Carbone asymétrique		17	
Carbonique (acide)		100	
— (dosage).		1024	
— (analyse)		1034	
Caséine		79	
Centrifuges.		759	
Cétozes		17	
Chaleurs spécifiques		552	
Charbon.		836	
Chaudières à carbonater		311	
— à sulfiter		383	
— à cuire (voir <i>cuite</i>).		679	
— Delavierre.		703	

Chauffage à effets multiples 635-1065	1070		
Chaulage	320		
Chaux (analyse de la)	1033		
— (titrage de la) 323-327-334-490	881		
— (sucrates de) 26-28-386-809-812-816	818		
Circulation (dans la diffusion)	231		
Citrique (acide)	76		
Clairçage	755		
Clerget (procédé)	941		
Collets de betterave	84		
Colonne barométrique	601		
Colorimètres	1017		
Combustible	887		
Combustion	839		
Composition de la betterave	13		
— du jus —	279		
Composts	149		
Compresseurs	371		
Comptabilité	1054		
Condensation de la vapeur	521		
— (lois de la)	531		
Condenseurs (calcul des)	567		
— (description des) 590	601		
Conduite de la diffusion	241		
Conservation de la betterave	188		
Contrats de betterave	121		
Contrôleur-mesureur de diffusion	260		
Contrôleur-mesureur de lait de chaux	326		
Cossettes	225 983		
Coupe-racines	222-232 878		
Couteaux	235		
Cristallisation en mouvement 706-716	1067		
Cristallisation (conduite de la)	720		
Cristallisoirs	748		
Cuite en grains	675 884		
— (acide)	677		
— (conduite de la)	690		
— (2 ^e jet)	775		
— (3 ^e jet)	777		
— Grossé	746		
— Reboux	746		
— Delavierre	703		
Culture	121		
Curcuma	1041		
		D	
		Décantation	319
		Défécation	293
		Densimétrie	891
		Densité (prise de la)	891
		Densité (définition)	896
		Dépulpeur	258
		Dessiccation des cossettes	271
		Détendeur	870
		Déverseur de vapeur	870
		Dextrine	23
		Dextrose	17 48
		Diffuseurs (proportion des)	246
		Diffusion	212 226
		— (bac de la)	250 879
		Digestion aqueuse et alcoolique	977
		Distributeurs de masse-cuite	772
		Dissociation	840
		Dulcite	22
		E	
		Eau	85-266 886
		Eaux (petites)	266
		Eaux résiduares	288
		Eau oxygénée	343
		Eau de condensation	588
		Eaux (essai des)	1036
		Ebullition	553
		Ecart des racines	172
		Echantillonnage des gaz	853
		Echantillonneur de jus	263
		Ecumes (analyses des)	985
		— (engrais)	145
		Egouts de turbinage	377 770
		Electrolyse	393
		Élévateurs	197 878
		Élimination des impuretés du jus	306
		Elution	809
		Emousseurs	314
		Engrais	133-138-141 145
		Engrais chimiques	145
		— (analyse des)	1011
		Ensilage	190
		Entraîneurs	225
		Entraînements	672
		Épierreur	203
		Épuisement des écumes	425
		Eucaline	22
		Évaporation	499
		— (système Piccard)	654

Extinction de la chaux.	490	Hydrosulfureux (acide). 115-338	415
Extraction du jus	214	Hydrotimétrie	1037
Extraction du sucre des mé- lasses	793		
F			
Façons	173	Incrustations	658
Fehling (liqueur de).	942	Indicateurs alcalimétriques. . .	327
Fermentations	65	— de vide	651
— (pectique).	89	Injecteurs	222
Filtration	421	Inosite	22
Filtration mécanique 444 455-661	883	Inuline	23
Filtres-presses . . . 421-431-883	884	Iode (liqueur titrée).	346
Fluation.	390		
Formation du sucre dans la bet- terave.	9	J	
Fours à chaux	469	Jus (analyse) 957-962	966
— à SO ²	352	Jus (extraction)	211
Frai de grenouille	67		
Fumier	134	K	
Fumure	150	Keil (râpe)	166
		Kluzemann (presses)	269
		Kœnig (chaaleur)	321
G			
Galactose	21		
Gaz carbonique (analyse)	1034	L	
Gaz des diffuseurs	255	Lactates.	76
Générateurs	843	Lactique (acide)	76 92
Glucates.	75	Lactose	22
Glucique (acide)	75 93	Lait de chaux.	323 491
Gluconique (acide)	17	Laveurs à betteraves	201 878
Glucosates	49	— à gaz	495
Glucose 48 62-88	911	Légumine	79
Glucose inactif	50	Lévigation des écumes	429
Glucosides	23	Lévulosane.	25
Glucosones.	17	Lévulose 17-50	63
Glycogène	23	Liqueur alcalino-cuprique	942
Gommes. 23 69	88	Liqueurs titrées. 327-329	1038
Graines de betteraves	162	Lumière polarisée	913
Gummique (acide)	70		
H			
Hexoses	17	M	
Houilles	836	Machine à gaz	496 882
Humine	77	Magasins à betteraves.	194 877
Humique (acide).	77	Malammine.	80
Humus	137	Malates	76
Hydrazines	19	Malaxeurs de chaux	491
Hydrocarbonates de chaux	103	— de masse-cuite	748
Hydrofluosilicique (acide) 388	390	Malique (acide) 76-81	92
Hydrosuocarbonates	31	Maltose	21
Hydrosulfitation	340	Mannite 17-22-69	88
		Mannitose	21
		Mannonique (acide).	17
		Mannose.	17

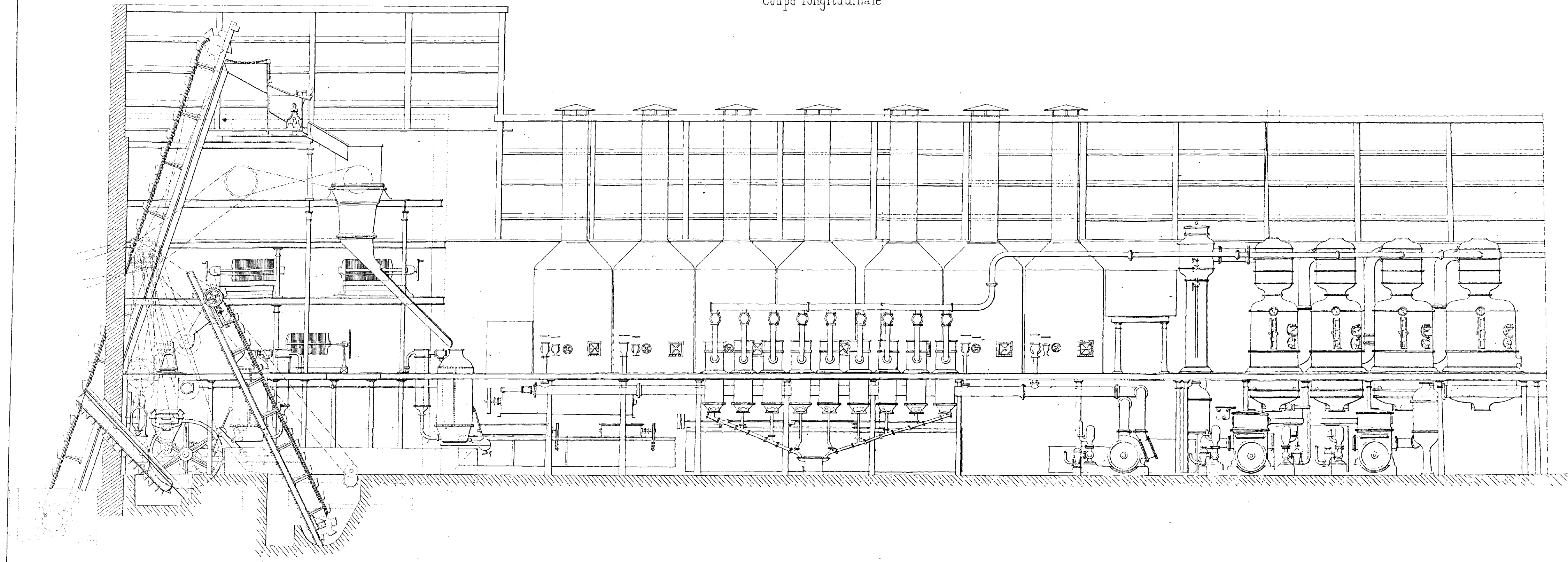
Rétrogradation de l'alcalinité	333	Sulfureux (action sur les jus et sirops)	104
Robetterie de la diffusion	255	— (dosage)	346
Rotatoire (polarisation)	917	Superphosphates	147
Ruissellement	628	Sursaturation	708
S		T	
Saccharimètres	922	Tableaux et tables divers :	
Saccharimétrie optique	913	Solubilité du sucre	24
Saccharine	68	Matières albuminoïdes	80
Saccharose	23	Densité et richesses du jus	126
Saccharoses (mono-bi-tri)	22	Densité et richesses du jus (Dupont)	127
Salins de mélasse	1002	Densité et richesses du jus (Pagnoul)	128
Scories phosphatées	143	Résistances électrolytiques	408
Scyllite	22	Courbe d'évaporation	549
Sécheurs de betterave	206	— d'ébullition	554
Sélection de la betterave	160 980	Tension de la vapeur d'eau (Regnault)	667
Sels (influence sur la cristalli- sation)	87 710	Tension de la vapeur d'eau (Zeuner)	670
Selwig et Lange (presses)	270	Pouvoir calorifique des com- bustibles	836
Semilles	157	Brix-Dupont-Vivien	903
Semences	173	Balling-Baumé	908
Séparation Steffen	818	Baumé-Gay-Lussac	909
Sextuple-effet	645	Correction des densités	910
Silos	190-877 880	Analyse saccharimétrique	938
Sirops (analyse)	563	Calcimètre	1029
Solubilité du sucre	24	Tables de Rossetti	1043
Sorbine	22	— Dupont (vases gra- dués)	1046
Soufre	343	Tannin (procédé au)	388
Soupape Dulac	568 870	Tare des betteraves	193
Sous-acétate de plomb	1041	Températures dans la diffusion	245
Soutirage de la diffusion	243	Température d'ébullition	554
Strontiane	385 826	Tension superficielle des liqui- des	714 1047
— (sucrate de)	26	Terre à betterave	129
Substitution (procédé de la)	816	Terre arable (analyse)	1033
Sucraterie	812	Thalpotasimètres	254
Sucrates (voir chaux, strontiane, baryte)		Thermomètres	254
Sucre (généralités)	15-21 86	Tirage des cheminées	843
Sucre de canne	23 61	Tournesol (teinture)	328-333 1040
— de lait	22	Tourteaux de filtres-presses	145 985
— de fruit	21	Transmission de la chaleur	538
— de malt	21	Transporteur hydraulique	196
— de raisin	21	Transports	184
— de quercitrin	21	Transport (du jus dans les tuyaux)	263
— de 1 ^{er} jet	74	Tréhalose	22
— interverti	51-53 64	Trioses	17
— neutre	52 53	Triple-effet	504-559 573
Sucres (analyse)	987 992		
Sucrocarbonates	39		
Sucrosels	46		
Sulfitation	331		
Sulfureux (acides)	405-330-344 415		

Tubes de saccharimètre.	170	926	V	
Turbines.		759	Vapeur (étude de la)	511
Tuyauterie de la diffusion	254		— (surchauffée)	513
— du four à chaux.	495		— (vésiculaire)	516
— de vapeur	562		— (tables des).	667
— d'eau, de jus	572		— (production de)	831
			— (quantité totale)	887
			Vaporisation	542
U			Vases de sûreté	592
Ulmine	77		Vases gradués	1042
Ulmique (acide)	77		Viscosimètres.	1049
— (matière)	93		Viscosité.	712 1058
Unités de mesure	895		Vitesse des gaz	851

INSTALLATION GENERALE DE LA SUCRERIE DE COUCY-LES-EPPES.

Echelle 1/100

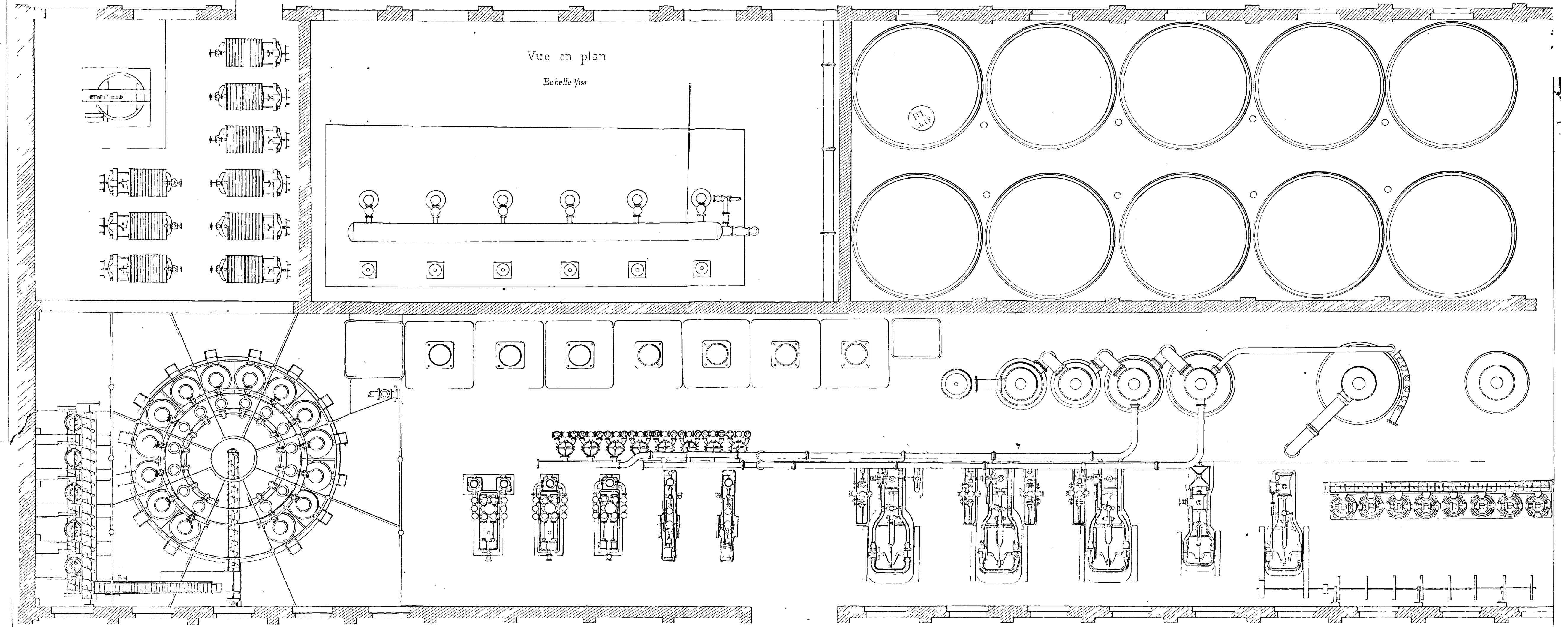
Coupe longitudinale

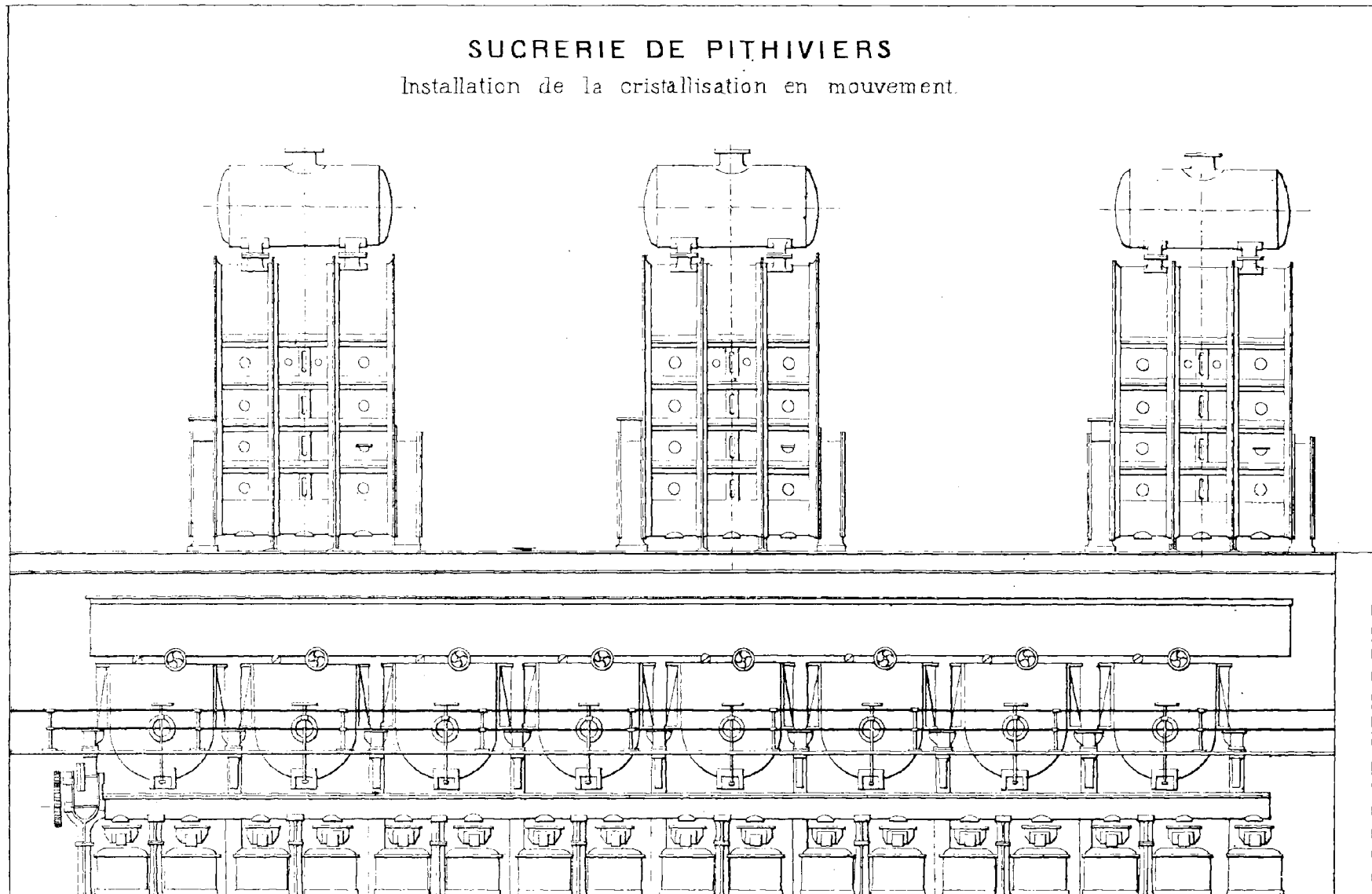


INSTALLATION GÉNÉRALE DE LA SUCRERIE DE COUCY-LES-EPPES

Vue en plan

Echelle 1/100

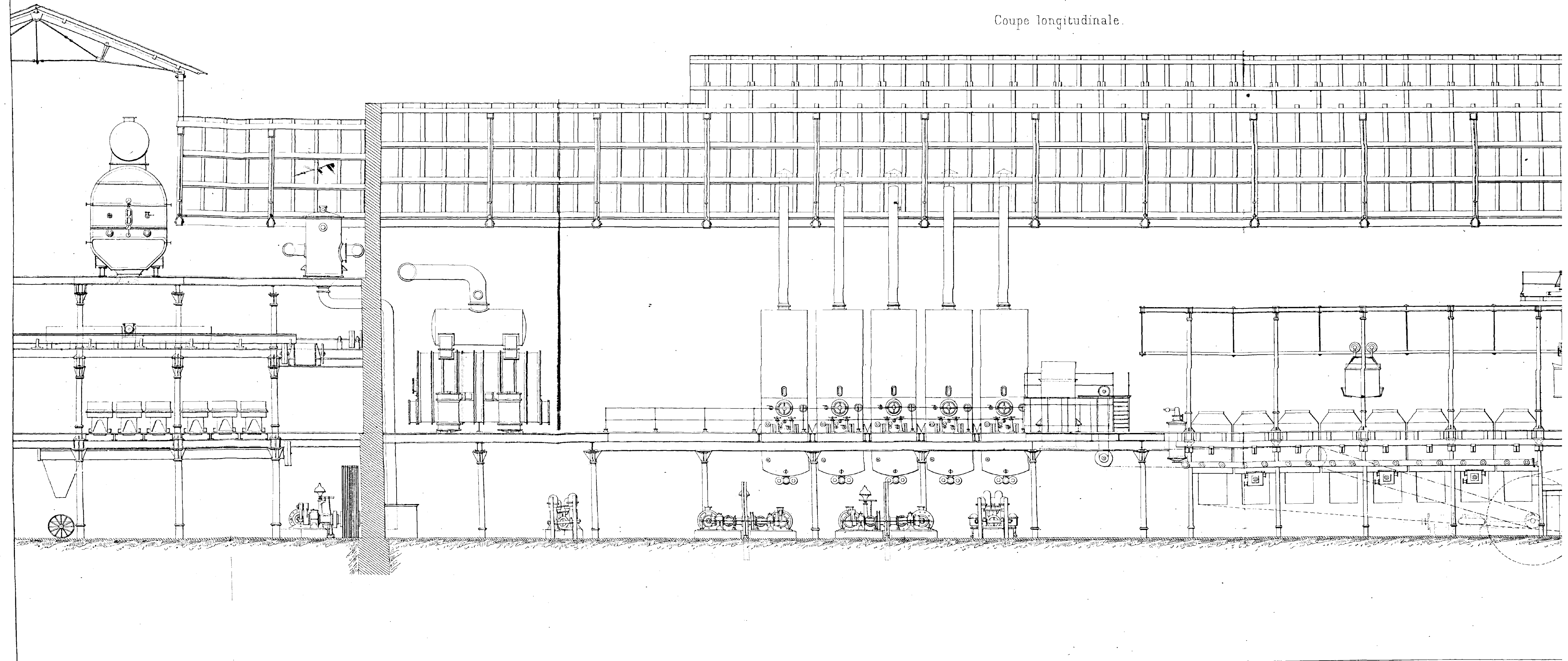




INSTALLATION GÉNÉRALE DE LA SUCRERIE DE ČAKOVICE (BOHÈME).

Echelle 1/100

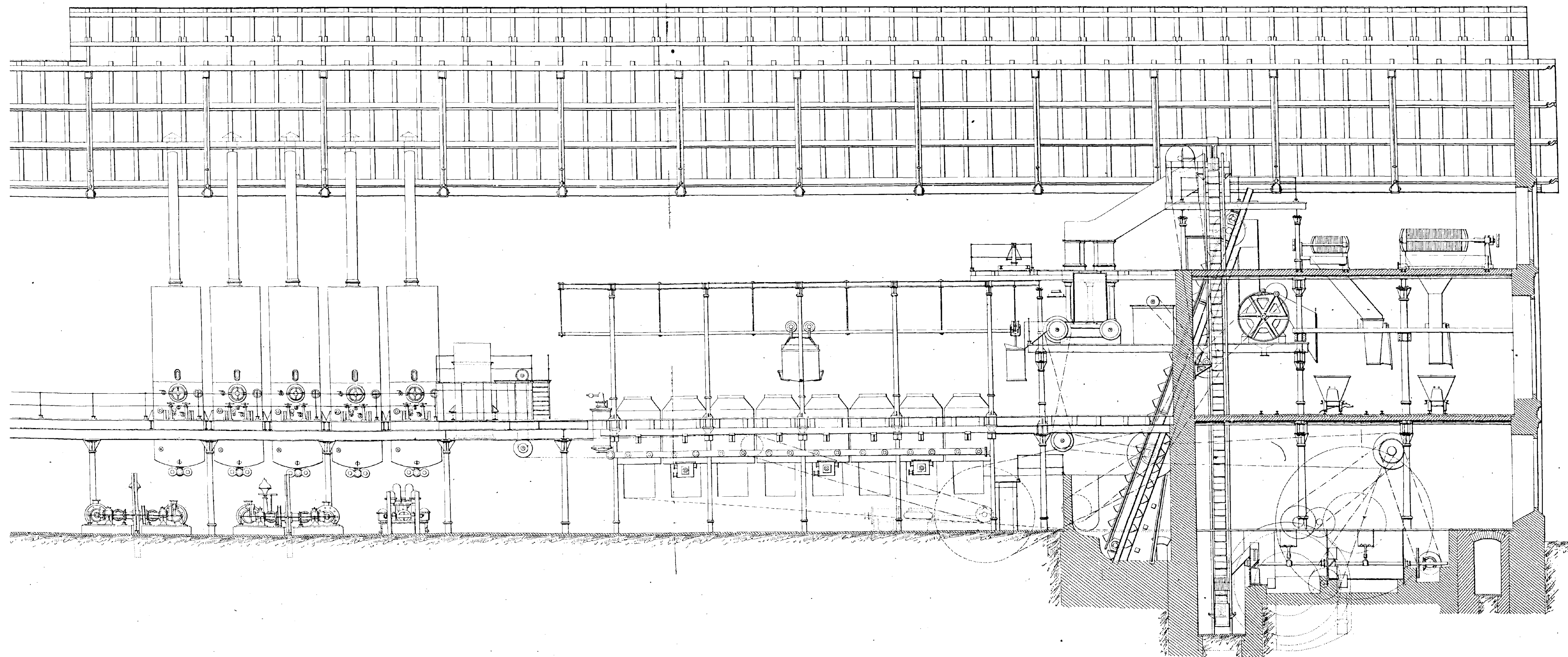
Coupe longitudinale.



INSTALLATION GÉNÉRALE DE LA SUCRERIE DE ČAKOVICE (BOHÈME).

Echelle 1/100

Coupe longitudinale.

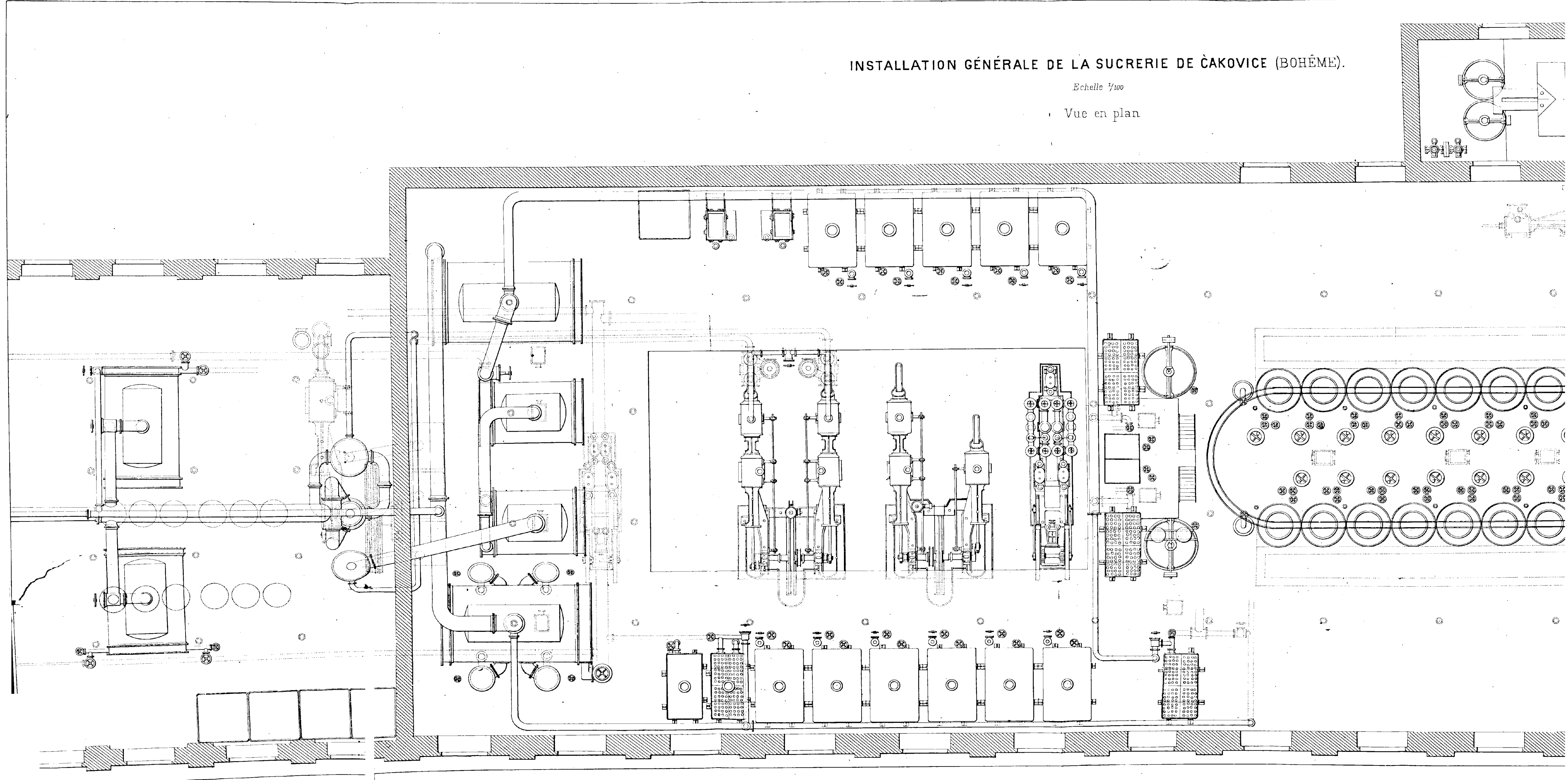


Auto. Langeniet & Langlet, 27, boulevard des Capucines, Paris

INSTALLATION GÉNÉRALE DE LA SUCRERIE DE ČAKOVICE (BOHÈME).

Echelle 1/100

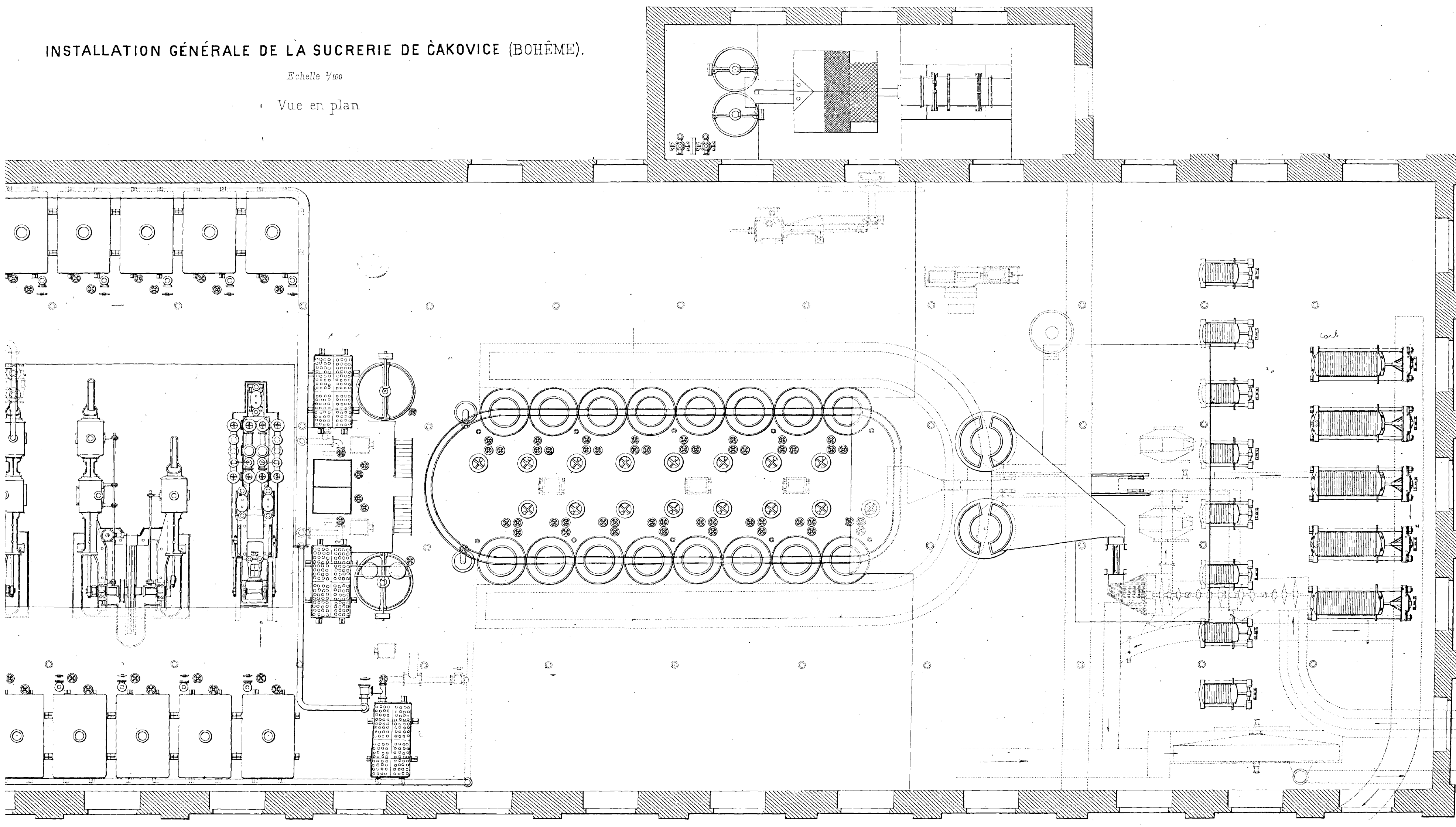
Vue en plan



INSTALLATION GÉNÉRALE DE LA SUCRERIE DE ČAKOVICE (BOHÈME).

Echelle 1/100

Vue en plan



Auto. Langlois et Langlet, 87, Faub. St. Martin.