



TRAITÉ  
DE LA CHALEUR

CONSIDÉRÉE  
DANS SES APPLICATIONS

PAR E. PÉCLET

INSPECTEUR GÉNÉRAL DE L'UNIVERSITÉ, PROFESSEUR DE PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS, A L'ÉCOLE CENTRALE  
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE, DU CONSEIL DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT, ETC

DEUXIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE

---

Tome Second.

---

PARIS

LIBRAIRIE DE L. HACHETTE

RUE PIERRE-SARRAZIN, 12

1843



TRAITÉ

DE LA CHALEUR

DES

LIQUIDES

PAR M. BOUTY

DE LA FACULTÉ DE SCIENCE

DE LYON

PARIS

MÉTHUEN & CO. LTD.

1902

# TRAITÉ DE LA CHALEUR

CONSIDÉRÉE

DANS SES APPLICATIONS.

---

## CHAPITRE X.

DISTILLATION.

---

1066. La distillation a pour objet de séparer une substance volatile d'une ou de plusieurs autres fixes, ou volatiles, mais à des températures plus élevées.

Nous examinerons successivement les différents cas qui peuvent se présenter, en commençant par ceux qui n'exigent que les appareils les plus simples.

### § 1. — DISTILLATION SIMPLE.

1067. Le cas dont il s'agit est, par exemple, celui de la distillation de l'eau, car les substances étrangères qu'elle renferme ordinairement sont des sels fixes; ce serait aussi celui d'un mélange d'alcool et de sucre, d'alcool et de sels, etc. La distillation des liqueurs vineuses rentrerait, au contraire, dans le second cas, parce qu'elles renferment deux substances vaporisables, de l'eau et de l'alcool. Cependant, si l'on ne voulait pas séparer ces deux substances l'une de l'autre, la distillation des matières fermentées rentrerait encore dans le cas que nous considérons.

1068. Lorsque les matières à distiller ne renferment qu'une seule substance volatile, l'opération consiste, 1° à soumettre le mélange à l'action de la chaleur pour réduire en vapeur le corps vaporisable; 2° à condenser les vapeurs de manière à recueillir le corps qui en résulte, qui peut être solide ou liquide suivant sa nature. La formation des vapeurs peut avoir lieu, ou par l'action directe d'un foyer, ou par la vapeur, ou par tout autre véhicule de la chaleur.

1069. *Distillation simple à feu nu.* Dans ce mode de chauffage, la formation des vapeurs s'effectue dans des appareils semblables à ceux que nous avons décrits en parlant de la vaporisation.

1070. Le métal dont on doit faire usage pour la construction des chaudières dépend de la nature de la substance à distiller. Par exemple, pour la distillation du soufre, du mercure, du zinc, le fer est le seul métal que l'on puisse employer; et la fonte est préférable à la tôle qui s'oxyderait trop facilement, et dont les joints seraient difficiles à fermer exactement, surtout si la matière à distiller était du soufre.

1071. Les soupapes de sûreté deviennent inutiles, parce que, comme nous le verrons plus tard, l'espace où la condensation des vapeurs a lieu communique librement avec la chaudière par un tuyau d'un diamètre suffisant, et que son extrémité est toujours ouverte à l'air. Cependant, il est des cas où la distillation ayant lieu avec pression, les soupapes de sûreté sont indispensables.

1072. Quant au tuyau de dégagement, ses dimensions peuvent se calculer d'après les mêmes principes que pour la vapeur d'eau. Mais, en général, on lui donne un diamètre beaucoup plus grand que celui qui est indiqué par la théorie, parce qu'il n'en résulte jamais d'inconvénient, et qu'au contraire, il y a souvent un très-grand avantage à avoir un grand tuyau de conduite. C'est ce qui a lieu, par exemple, dans la distillation des vins, où il est nécessaire que les vapeurs séjournent le moins de temps possible dans la chaudière, et qu'elles n'y soient soumises qu'à une faible pression, parce qu'autrement elles pourraient se brûler contre la paroi de la chaudière qui se trouve au-dessus du niveau du liquide. Dans la distillation du soufre, le canal de dégagement doit être beaucoup plus considérable encore, parce que ce canal est sujet à s'obstruer par la solidification des vapeurs.

1073. Les dimensions de toutes les parties de l'appareil dépendent,

comme nous l'avons déjà dit, de la quantité de vapeur que l'on veut obtenir dans un temps donné; car, de cet élément, on peut déduire la quantité de combustible à consommer, l'étendue de la surface de chauffe de la chaudière, et toutes les autres parties de l'appareil.

1074. Tous ces calculs ont déjà été faits pour l'eau; nous allons les appliquer à d'autres substances.

Occupons-nous d'abord de l'alcool, et supposons qu'il s'agisse de distiller par heure 100 kilogrammes d'alcool qui ne soit mêlé qu'avec des substances fixes. Commençons par chercher la quantité de chaleur nécessaire à la vaporisation de l'alcool. Nous avons vu que l'alcool, dont l'ébullition a lieu à  $78^{\circ},41$ , absorbe dans son changement d'état une quantité de chaleur capable d'élever le même poids d'eau à  $207^{\circ}$  (66), et comme la chaleur spécifique de l'alcool est 0,622, il en résulte que 1 kilogramme d'alcool à  $0^{\circ}$ , pour être réduit en vapeur, absorbera un nombre d'unités de chaleur égal à  $78,41 \times 0,622 + 207 = 255$ . C'est à peu près les  $\frac{1}{10}$  de la chaleur qui serait absorbée par l'échauffement à  $100^{\circ}$  et la vaporisation d'un même poids d'eau. Or, on sait qu'en général 1 kilogramme de houille vaporise 6 kilogrammes d'eau, par conséquent, 1 kilogramme de houille pourra réduire en vapeur  $\frac{6 \times 10}{4} = 15$  kilogrammes d'alcool.

1075. Quant à la surface de chauffe de la chaudière, nous savons que dans un appareil bien construit et qui donne 6 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, il ne faut compter que sur 15 à 20 kilogrammes de vapeur d'eau par mètre carré et par heure; or, cette quantité de chaleur qui passe à travers le métal, pourra volatiliser  $\frac{10}{4}$  fois plus d'alcool, c'est-à-dire, de 37 à 50 kilogrammes. Ainsi, pour calculer la surface de chauffe, il faudra compter au moins sur 37 kilogrammes de vapeur d'alcool par mètre carré et par heure. On pourrait, comme nous l'avons déjà fait observer (730), obtenir une quantité de vapeur beaucoup plus grande, mais la chaleur ne serait pas employée aussi utilement.

Ainsi, pour le cas que nous avons supposé, la surface de chauffe de la chaudière devrait être de  $\frac{100}{37} = 2,7$  mètres.

La quantité de combustible à brûler par heure serait  $\frac{100}{15} = 6^{\text{k}},66$ . Les dimensions de la grille, la section de la cheminée, etc., se dé-



duiraient facilement de ces données et de la hauteur de la cheminée.

1076. Supposons maintenant que nous ayons à distiller un mélange d'eau et d'alcool, c'est le cas ordinaire de la distillation des vins, et supposons que l'alcool soit à l'eau comme 1 est à 24, ce qui représente  $\frac{1}{24}$  du poids d'eau-de-vie à 22° de Baumé. L'expérience a appris que pour obtenir presque tout l'alcool contenu dans ce liquide, il faut réduire en vapeur 0,22 de la masse totale, et que la liqueur obtenue porte à l'aréomètre le titre moyen de 17°, et se compose de  $\frac{1}{24} = 0,042$  d'alcool, et, par conséquent de  $0,22 - 0,042 = 0,178$  d'eau.

Si, par exemple, il s'agissait de distiller 1000 litres de vin par heure, il faudrait vaporiser 220 litres de liqueur, composés de 42 litres d'alcool pur et de 178 litres d'eau.

La quantité de houille nécessaire serait alors, d'après ce qui précède,

Pour la vaporisation de 42 kilogrammes d'alcool $\frac{42}{15} = \dots$	2 <sup>k</sup> ,80
Pour la vaporisation de 178 kilogrammes d'eau $\frac{178}{6} = \dots$	29,66
Pour l'échauffement à 100° du liquide restant $= \frac{780}{39} = \dots$	20,00
Total de la dépense du combustible. . . . .	52 <sup>k</sup> ,46

Il est facile, d'après cela, de calculer la surface de chauffe de la chaudière, car il doit passer à travers ses parois une quantité de chaleur égale à celle qui serait nécessaire à la vaporisation de  $52^k,46 \times 6 = 314^k,76$  d'eau, ce qui, à raison de 15 kilogrammes de vapeur par mètre carré, donne 20<sup>m</sup>,492.

1077. On pourrait calculer de la même manière la quantité de combustible et les dimensions de la chaudière qui seraient nécessaires pour distiller, par heure, une quantité donnée de tout autre corps volatil, si on connaissait exactement sa capacité calorifique et la chaleur qu'il absorbe en se volatilissant. Mais si la température de l'ébullition du corps était beaucoup plus élevée que celle de l'eau, la même surface de chaudière ne laisserait pas passer dans le même temps la même quantité de chaleur que quand elle est employée à vaporiser de l'eau.

1078. Dans la distillation des substances qui ne bouillent qu'à une température très-élevée, il y a une très-grande perte de chaleur; mais on peut toujours en utiliser une partie en plaçant à la suite de la chau-



dière de distillation, une ou plusieurs autres chaudières dans lesquelles la matière commence à s'échauffer.

1079. *Appareils de condensation.* Immédiatement après leur sortie de la chaudière, les vapeurs doivent arriver dans un espace dont les parois en absorbant leur chaleur latente les fassent repasser à l'état liquide.

1080. Il en est du volume d'un condensateur comme du volume d'une chaudière, il est sans influence sur l'effet produit, car c'est uniquement par les parois de l'appareil que la chaleur passe pour se répandre au dehors; par conséquent, toutes choses égales d'ailleurs, la quantité de vapeur qui peut passer à l'état liquide dans le condensateur est proportionnelle à sa surface.

1081. On n'emploie pour agent extérieur de refroidissement que l'air et l'eau, et dans les appareils d'une grande dimension, l'enveloppe du condensateur est en terre cuite, en étain, en plomb, en cuivre ou en fer.

1082. Il est facile de déterminer l'étendue de la surface du condensateur quand on connaît la nature du fluide qui doit absorber la chaleur, sa température moyenne, la quantité de vapeur qui doit être condensée dans un temps donné, la chaleur que cette vapeur émet par sa condensation, et enfin la quantité de chaleur qui peut passer dans un temps connu à travers une surface de métal déterminée dans les diverses circonstances qui peuvent se présenter.

Ces derniers éléments peuvent facilement se déduire des résultats suivants, qui ont été obtenus pour la vapeur d'eau.

*Condensation de la vapeur d'eau par heure et par mètre carré de surface, en contact avec l'air à 15°.*

Fonte de 5 à 6 millimètres.....	1 <sup>k</sup> ,80
Cuivre de 2 à 3 millimètres.....	1 <sup>k</sup> ,40
Fer-blanc.....	1 <sup>k</sup> ,07
Tôle.....	1 <sup>k</sup> ,82
Verre.....	1 <sup>k</sup> ,76

*Condensation de la vapeur d'eau par heure et par mètre carré de surface, en contact avec de l'eau de 20 à 25°.*

Cuivre de 2 à 3 millimètres.....	107 <sup>k</sup> .
----------------------------------	--------------------

1083. Supposons, d'abord, qu'il soit question de condenser 100 kilogrammes de vapeur d'eau par heure dans un condensateur de cuivre mince exposé à l'air, dont la température moyenne soit de  $10^{\circ}$ . La différence de température sera  $90^{\circ}$ ; or, pour une différence de  $85^{\circ}$ , la condensation par mètre carré est, d'après le tableau précédent, de  $1^{\text{k}},80$ ; par conséquent, en admettant la loi de Newton sur le refroidissement, pour la différence de  $90^{\circ}$  elle sera  $1^{\text{k}},80 \times \frac{90}{85} = 1^{\text{k}},90$ ; d'où il suit que la surface totale du condensateur sera de  $\frac{100}{1,90} = 52^{\text{m}},66$ .

1084. Supposons maintenant qu'il s'agisse de condenser par heure 100 kilogr. de vapeur d'alcool à  $22^{\circ}$  de Baumé, dans un condensateur en cuivre mince, renfermé dans un vase plein d'eau maintenu à la température moyenne de  $20^{\circ}$ . Il faut commencer par chercher la quantité de chaleur émise par la condensation d'un kilogr. de vapeur de cette substance, et la comparer à celle que dégage 1 kilogramme de vapeur d'eau pure. Or, l'alcool à  $22^{\circ}$  de Baumé est composé de 64 parties d'eau et de 36 d'alcool pur; par conséquent 1 kilogramme de vapeur d'alcool à  $22^{\circ}$  renferme  $0^{\text{k}},64$  de vapeur d'eau et  $0^{\text{k}},36$  de vapeur d'alcool pur; et comme 1 kilogramme de vapeur d'eau en se condensant émet 550 unités de chaleur, et 1 kilogramme de vapeur d'alcool seulement 207, il en résulte que la quantité de chaleur émise par la condensation de 1 kilogramme d'alcool à  $22^{\circ} = 550 \times 0,64 + 207 \times 0,36 = 426$ ; ainsi la quantité de chaleur émise par la condensation de 1 kilogramme d'alcool à  $22^{\circ}$ , est égale à  $\frac{426}{550} = 0,77$  de celle qui est développée par la condensation de 1 kilogramme de vapeur d'eau, d'où il suit que 1 mètre carré de surface de cuivre pourra condenser en une heure  $\frac{107}{0,77} = 139$  kilogrammes de vapeur d'alcool à  $22^{\circ}$ . Ainsi la surface du condensateur sera égale à  $\frac{100}{139} = 0^{\text{m}},71$ .

Si la condensation avait lieu par l'air, il serait facile, en partant des mêmes principes et des nombres que nous avons donnés précédemment, de déterminer l'étendue de la surface de condensation.

1085. Examinons maintenant la manière dont les condensateurs sont disposés. Dans les petits appareils de laboratoire, le condensateur est ordinairement un ballon que l'on place à l'extrémité du col de la cornue ou du vase distillateur, et qu'on environne d'un linge mouillé (fig. 1<sup>re</sup>,



pl. 45). On emploie aussi quelquefois des alambics en cuivre, dont le chapeau de forme hémisphérique est disposé comme celui de l'appareil figure 2; il est de plus environné d'eau que l'on renouvelle de temps en temps. La chaudière porte ordinairement le nom de cucurbite.

1086. Dans les appareils d'une grande dimension, on peut employer des réfrigérants à eau ou à air, ou du moins à liquide et à air; nous nous occuperons d'abord des premiers.

1087. *Réfrigérants à eau.* On a employé d'abord un tube droit en métal, traversant une cuve pleine d'eau; mais pour condenser une quantité considérable de vapeur, il aurait fallu des caisses d'une longueur démesurée. Glauber, en 1650, eut le premier l'idée heureuse de plier le tuyau en hélice, de manière à en loger une grande longueur dans une cuve d'une petite dimension. Cet appareil, maintenant généralement usité, est représenté figure 3. On le désigne sous le nom de serpentín; l'extrémité supérieure A est en communication avec la chaudière où se forment les vapeurs, et la partie inférieure B avec le vase qui doit recevoir le liquide provenant des vapeurs condensées.

1088. La surface d'un serpentín est évidemment égale au contour de la section transversale multiplié par la longueur de l'hélice. La longueur de l'hélice peut facilement se calculer lorsqu'on connaît le diamètre du cercle qui forme la base du cylindre sur lequel se trouve l'axe du canal, la distance de deux spires consécutives, et enfin le nombre des spires. En effet, si on conçoit une hélice tracée autour du cylindre ABCD (fig. 4), et si l'on développe le cylindre, la surface du cylindre sera un rectangle ABC'D' dont la base sera égale à la circonférence du cercle BC, et dont la hauteur sera AB; l'hélice s'élevant régulièrement et uniformément sur la surface du cylindre, donnera pour développement de la spire  $mn$  la droite  $mn'$ ,  $n'p$  étant égal à  $mn$ . Ainsi, la longueur d'une spire sera l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont la base est égale à la circonférence du cercle sur lequel s'enroule la spire, et dont la hauteur est la distance de deux spires consécutives, et la longueur totale du serpentín sera égale à la longueur d'une spire multipliée par leur nombre. Lorsque les spires sont très-voisines les unes des autres, on peut, sans erreur sensible, considérer la surface totale comme égale à celle d'autant d'anneaux circulaires qu'il y a de spires.

1089. Pour que la condensation s'opère complètement dans les appa-

reils dont les dimensions ont été calculées, il faut nécessairement que l'eau se renouvelle, de manière que la température moyenne ne soit pas supérieure à 25°, autrement la quantité de vapeur condensée serait beaucoup plus petite.

1090. On peut déterminer exactement la quantité d'eau échauffée, et les intervalles de son renouvellement, quand on connaît la capacité de la cuve. En effet, supposons que l'eau froide qu'on introduit dans la cuve du serpentín soit à la température de 12°, c'est la température moyenne de l'eau des puits pendant l'année, il sera toujours facile de trouver dans chaque cas particulier le nombre d'unités de chaleur qui passera dans l'eau pendant une heure par la condensation de la vapeur, et par conséquent le nombre de kilogrammes d'eau dont la température sera élevée de 12° à 25°. Par exemple, l'appareil devant condenser 100 kilogrammes de vapeur d'alcool à 22°, comme nous avons déjà vu (1084) que le nombre d'unités de chaleur développées par la condensation d'un kilogramme de vapeur de cette substance est de 426, et par suite de 42600 pour 100 kilogrammes, il en résulte que la quantité d'eau échauffée de 12° à 25 par la condensation de ces 100 kilogrammes de vapeur d'alcool à 22°, sera de  $\frac{42600}{25 - 12} = \frac{42600}{13} = 3277^{\text{a}}$ . Ainsi il faudrait toutes les heures enlever 3277 litres d'eau de la cuve de condensation, et en introduire une égale quantité.

1091. Mais ordinairement on n'emploie qu'une quantité d'eau beaucoup plus petite, parce que l'eau de la cuve n'a pas une température uniforme, celle qui est à la partie supérieure se trouvant très-chaude, tandis que celle qui est à la partie inférieure est presque froide; alors, en laissant écouler l'eau de la partie supérieure, elle entraîne sous une petite masse une quantité très-considérable de chaleur. Par exemple, le volume de la cuve du serpentín étant exactement de 3277 litres, et sa température initiale étant de 12°, après la condensation de 100 kilogrammes de vapeur d'alcool à 22° sa température moyenne serait exactement de 25°; c'est-à-dire, ce degré serait la température de la masse si on l'agitait fortement de manière que la température devînt uniforme dans tous ses points, alors il faudrait enlever complètement ces 3277 litres d'eau pour les remplacer par une égale quantité d'eau à 12°; mais si au lieu d'agiter l'eau, on se contente d'évacuer la moitié supérieure qui se trouve à une température moyenne de près de 50°,



on voit que cette eau entraînera à elle seule la plus grande partie de la chaleur que la condensation de la vapeur avait accumulée dans la masse totale de l'eau. C'est ainsi qu'on opère toujours, et même dans les appareils de grande dimension, le départ de l'eau chaude et son renouvellement ont lieu d'une manière continue : l'eau chaude s'échappe par un tuyau A placé vers le sommet de la cuve (fig. 5), et l'eau froide arrive par un tuyau latéral BC qui pénètre dans la cuve par la partie inférieure. On règle à volonté le courant d'eau froide à l'aide du robinet D ; l'eau froide se trouve dans un réservoir supérieur E dans lequel elle arrive naturellement ou par des pompes.

1092. Pour éviter d'élever l'eau froide dans un réservoir supérieur, on a proposé d'alimenter la cuve du serpentin par un appareil très-simple fondé sur le même principe que le jeu du siphon ordinaire. Le tuyau d'alimentation ABC (fig. 6) plonge dans un réservoir d'eau froide M placé au-dessous de la cuve, mais dont la distance au sommet de la cuve ne peut excéder 32 pieds. La partie supérieure de la cuve est exactement fermée par un couvercle luté DE, garni à son sommet d'un tube qui descend latéralement au-dessous du niveau de l'eau dans le réservoir M. Il est évident, d'après cela, que la cuve fait partie de la branche ascendante d'un siphon ordinaire, et qu'aussitôt que l'appareil sera complètement rempli d'eau, le liquide du réservoir M s'élèvera continuellement dans la cuve pour redescendre par le tube PQ. Mais pour que cet appareil puisse fonctionner, il est nécessaire d'y ajouter quelques dispositions de détail importantes : 1° pour amorcer cette espèce de siphon, il faut garnir les deux tubes BC et PQ de deux robinets *m* et *n*, que l'on maintient fermés pendant qu'on remplit le siphon d'eau froide par une ouverture supérieure, et que l'on ouvre aussitôt qu'il est rempli et qu'on a fermé l'ouverture d'introduction de l'eau. 2° Pour éviter que l'écoulement ne s'arrête par le dégagement de l'air qui est dissous dans l'eau et que la chaleur met en liberté, il faut placer au point culminant du siphon un petit réservoir X garni de deux robinets *p* et *q* ; pendant que le siphon est en activité, le robinet *p* est ouvert et le robinet *q* est fermé ; l'air dégagé se rend dans le réservoir X, et de temps en temps on le laisse échapper en ouvrant le robinet *q* après avoir fermé le robinet *p* ; mais toutes les fois qu'on remet le récipient X en communication avec le siphon, il faut avoir soin de le remplir exac-



tement d'eau. Le robinet *q* est surmonté d'un entonnoir qui sert à amorcer le siphon. Cet appareil est un peu compliqué, je doute qu'il soit employé; mais comme il peut se rencontrer des circonstances dans lesquelles il soit utile, j'ai pensé devoir le décrire. La grande difficulté que l'on rencontrerait dans son exécution, consiste dans l'ajustement du couvercle de la cuve.

1093. Les serpentins sont faciles à construire; les tuyaux de fer étiré, d'une grande épaisseur et d'un petit diamètre, se courbent facilement à froid, sans s'aplatir; il en est de même des tuyaux en plomb et en zinc sans soudure; mais pour les tuyaux de cuivre mince, qui sont toujours soudés, on les courbe facilement sans les déformer, lorsqu'ils ont été remplis de sable fin. Pour mieux utiliser la surface de condensation ou pour en placer une plus grande étendue dans le même volume, on emploie quelquefois les dispositions représentées par les figures 7 et 8 (pl. 45). Dans la première, le serpentin est roulé sur des cônes apposés alternativement par leur base et par leur sommet. Dans la seconde, l'appareil est formé de plusieurs hélices concentriques que la vapeur parcourt simultanément.

1094. Pour économiser l'eau de condensation, ou pour l'obtenir à une température plus élevée quand sa chaleur doit être utilisée, on emploie les dispositions représentées par les figures 9, 10 et 11. Dans la première, un cylindre central oblige l'eau qui s'élève à passer près du tuyau qui forme le serpentin. Dans la seconde, l'appareil est formé de deux serpentins qui ont un axe commun; la vapeur parcourt le serpentin central, et l'eau parcourt en sens contraire l'intervalle qui sépare les deux tuyaux. Cette disposition est facile à exécuter quand les tuyaux sont d'un petit diamètre; avant de les courber, on introduit le petit tuyau dans le grand, après avoir placé de distance en distance, sur sa surface, de petites saillies qui l'empêchent de toucher la surface du tuyau enveloppant, et on les courbe ensuite. Quand les tuyaux ont un grand diamètre, on les laisse en ligne droite, et on les dispose comme l'indique la figure 11 quand ils ne doivent occuper qu'une petite longueur; le tuyau à vapeur est plié de manière à présenter une suite de parties rectilignes qui sont environnées par le tuyau destiné à conduire l'eau de condensation, et les intervalles des tuyaux communiquent par des tubes *a, b*.

1095. On a cherché à construire des condensateurs d'une autre forme, soit pour loger une plus grande surface de condensation dans le même



espace, soit pour pouvoir les nettoyer facilement. Avant de les décrire, nous ferons d'abord remarquer qu'une étendue suffisante de la surface refroidissante n'est pas la seule condition à remplir, il en est d'autres qui sont aussi très-importantes : 1° il faut que les condensateurs soient disposés de manière que la vapeur puisse expulser complètement l'air qui les remplit au commencement de l'opération ; car la présence de l'air diminue considérablement la faculté condensante de la surface ; on se rendra facilement compte de ce fait en observant que l'air conduit très-mal la chaleur, et que le refroidissement n'ayant sensiblement lieu que sur les couches en contact avec le métal, la condensation ne fait de progrès qu'avec le renouvellement de ces couches qui ne s'effectue alors que lentement. Il en est tout autrement quand l'espace est uniquement occupé par la vapeur, car la vapeur en contact avec le métal en se condensant produit un vide instantané qui est de suite occupé par de nouvelles vapeurs ; ainsi le fait même de la condensation produit un appel des vapeurs contre la surface refroidissante. 2° Il est parfaitement inutile de forcer la vapeur à serpenter contre la surface refroidissante, du moins quand l'appareil est disposé de manière que l'air soit expulsé par l'introduction des premières vapeurs ; d'après ce qui précède la raison en est évidente. 3° Enfin l'appareil doit être disposé de manière que l'extrémité du canal par laquelle s'écoule le liquide condensé, et qui est en communication avec l'air, se trouve en contact avec l'eau la plus froide, afin que le liquide soit à une température peu élevée et émette peu de vapeurs après sa sortie.

1096. Le premier appareil de condensation qu'on a essayé de substituer au serpentín, est composé (fig. 12, pl. 45) de deux cônes tronqués ABCD et A'B'C'D' qui ont un même axe, mais des diamètres tels que l'intervalle qui les sépare a quelques pouces à la partie supérieure et seulement quelques lignes vers le bas : cet intervalle est exactement fermé en bas par un diaphragme annulaire qui est soudé avec chacun des cônes ; il est fermé en haut par un couvercle à rebords plongeant dans une rigole annulaire remplie d'eau ; la partie inférieure est un peu inclinée et garnie à la partie la plus basse d'un tuyau à robinet ; à la partie supérieure se trouve un tuyau FF qui est destiné à recevoir un tuyau d'un plus petit diamètre qui amène les vapeurs de la chaudière. Cet appareil est, comme le serpentín, fixé à demeure dans une cuve dont l'eau s'é-

coule par la partie supérieure, et se renouvelle par le bas ; il est d'une construction simple, et, ce qui est très-avantageux dans un grand nombre de cas, d'un nettoyage facile, le couvercle supérieur pouvant s'enlever aisément. Cet appareil, connu depuis longtemps, a été employé et a donné de bons résultats.

1097. Solimani, dans son alambic que nous décrirons plus tard, a employé un condensateur de forme différente, représenté en coupe (fig. 13, pl. 45), qui est aussi d'une construction très-simple. Il est composé de deux lames de cuivre pliées parallèlement en zigzag, et qui laissent entre elles un intervalle d'une hauteur constante fermé latéralement par des lames de cuivre exactement soudées aux premières ; cet appareil reçoit par la partie supérieure le tuyau d'arrivée des vapeurs, et porte à la partie inférieure un tuyau à robinet par lequel s'écoule le liquide condensé ; il est, comme le précédent, fixé dans une cuve pleine d'eau. Pour cette disposition, il est plus avantageux d'employer une cuve carrée.

1098. Dans une circonstance où il fallait placer un condensateur d'une grande surface dans une cuve d'un très-petit volume, j'ai employé un appareil composé d'une série de boîtes circulaires légèrement inclinées et communiquant par des tuyaux d'un petit diamètre. C'est une des dispositions qui, sous le même volume, renferment le plus de surface.

1099. On pourrait aussi employer une disposition que l'on doit à M. Brunel, et dont il s'est servi dans la machine où il se proposait d'utiliser l'acide carbonique comme force motrice. Ce réfrigérant est composé de deux caisses cylindriques exactement fermées, et qui communiquent entre elles par un grand nombre de tubes parallèles, dont les extrémités sont exactement soudées au fond inférieur de la première caisse et au fond supérieur de la seconde ; la première caisse reçoit le tuyau qui amène les vapeurs, et a seconde un tuyau à robinet pour l'écoulement du liquide qui provient de la condensation ; le fond inférieur de la seconde caisse est un peu incliné, et l'appareil se place, comme les précédents, dans une cuve en bois pleine d'eau. Cette disposition a un inconvénient grave, il n'y a qu'un petit nombre de tubes qui fonctionnent, à moins que l'air n'ait été parfaitement expulsé.

1100. Si l'appareil de vaporisation communiquait avec un espace vide, quelle que fût la forme du condensateur que l'on adoptât, et la tem-



pérature de l'eau, jamais la condensation ne pourrait être complète. En effet, les liquides émettant des vapeurs à toutes les températures, l'espace occupé par le condensateur renfermerait nécessairement de la vapeur à la température et à la tension du liquide condensé, température qui ne pourrait jamais être inférieure à celle du liquide refroidissant. C'est ce qui arrive dans le condensateur des machines à vapeur.

1101. Mais quand l'extrémité du condensateur communique avec l'atmosphère et qu'il ne renferme point d'air, il n'en est pas ainsi; il ne peut se former, du moins d'une manière permanente, de vapeur à une température inférieure à celle de l'ébullition, parce qu'elle ne pourrait point supporter la pression de la vapeur qui sort de la chaudière, pression qui est égale à celle de l'atmosphère. La transformation de la vapeur en eau a lieu complètement, et il ne pourrait sortir de l'appareil que de la vapeur à la température de l'ébullition dans l'air, si la force condensante de l'appareil n'était pas suffisante.

1102. Nous avons donné précédemment le moyen de calculer la surface d'un condensateur dans chaque cas particulier; mais il sera toujours avantageux de prendre une surface un peu plus grande, afin de refroidir le liquide condensé.

1103. Dans les opérations suivies, on peut utiliser la chaleur qui provient de la condensation des vapeurs pour chauffer le liquide qui doit servir à l'opération suivante, comme cela se pratique dans les distilleries de vin. Examinons quelle est l'importance de l'économie de combustible qui résulte de cette disposition.

S'il s'agissait de la distillation de l'eau ordinaire, la vaporisation du liquide introduit dans la chaudière devant être complète, on ne pourrait utiliser qu'une faible partie de la chaleur de condensation; en effet, la vapeur d'eau émettant par sa condensation une quantité de chaleur capable de porter de 0° à 100°, 5 fois  $\frac{1}{3}$  son poids d'eau, et la charge de la chaudière étant égale à la quantité de vapeur formée, on ne pourrait profiter que de  $\frac{1}{5}$  de la chaleur de condensation.

Dans la distillation des vins, on peut en utiliser une quantité beaucoup plus considérable, parce que la quantité de vapeur condensée est toujours beaucoup plus petite que la charge de la chaudière. Par exemple, les vins du Midi, qui contiennent ordinairement  $\frac{1}{4}$  de leur



poids d'eau-de-vie à 22°, pour être épuisés d'alcool, doivent être réduits par la distillation à peu près aux  $\frac{78}{100}$  de leur volume primitif; la quantité de liquide vaporisé est donc égale aux  $\frac{22}{100}$  de leur volume, alors la quantité de chaleur émise par la condensation peut être en totalité employée à chauffer la charge de l'opération suivante. En effet, supposons que les opérations successives s'exécutent sur 100 kilog., la quantité de vapeur fournie par chaque opération sera de 22 kilog. Or, nous avons déjà vu (1084) que la quantité de chaleur produite par la condensation de chaque kilogramme de vapeur est de 426 unités de chaleur; par conséquent celle qui résultera de la condensation de 22 kilog. sera de 9372; en admettant, ce qui est une approximation bien suffisante, que la capacité calorifique du vin soit égale à celle de l'eau, cette quantité de chaleur pourra élever les 100 kilog. de vin de 0° à 93°, 72. Ainsi on voit que dans ce cas la chaleur dégagée par la condensation pourra être utilisée en totalité.

1104. Lorsqu'on emploie la chaleur dégagée par la condensation, on se sert toujours de deux serpentins; l'un pour chauffer le liquide de l'opération suivante, l'autre pour refroidir le liquide qui sort du premier condensateur et pour liquéfier les dernières portions de vapeurs.

1105. Les réfrigérants à air doivent avoir une surface beaucoup plus grande que celle des réfrigérants à liquides, attendu que, pour la même différence de température, la quantité de chaleur qui traverse la surface du condensateur est beaucoup plus petite dans le premier cas que dans le second. La surface d'un réfrigérant devrait être à peu près 50 fois plus grande quand le refroidissement a lieu par l'air que quand il s'effectue par le contact de l'eau.

On pourrait cependant diminuer beaucoup l'étendue de la surface des réfrigérants à air, en augmentant la vitesse de l'air qui l'entourne; et cet accroissement de vitesse pourrait être produit par la chaleur même de l'air échauffé: il suffirait, pour cela, de plier le tuyau en hélice cylindrique ou conique, et de l'entourner d'un cylindre d'une certaine hauteur ouvert par les deux bouts; ce tuyau se comporterait comme une cheminée ordinaire; l'air entrerait par la partie inférieure, s'échaufferait contre le tuyau en condensant la vapeur qu'il renferme, et se renouvellerait avec une vitesse qui dépendrait à la fois de la hauteur et du diamètre du cylindre enveloppant. Les figures 14 et 15 (pl. 45) représentent



la disposition dont il est question. Dans la première, il n'y a qu'un seul serpent, avec un cylindre intérieur fermé à la partie supérieure; ce cylindre serait avantageusement remplacé par un second serpent que la vapeur parcourrait, en même temps que le premier, de haut en bas. Dans la figure 15, l'hélice du serpent est conique; cette forme est plus avantageuse que la première, parce que l'air est plus divisé. On augmenterait la vitesse de l'air en faisant communiquer le cylindre avec le cendrier d'un foyer consommant beaucoup d'air, ou avec une cheminée ayant un grand excès de tirage.

L'air chaud pourrait être utilisé; mais, dans le cas où l'on aurait un emploi de la chaleur produite, il serait toujours plus commode de condenser par l'eau, dont on utiliserait ensuite la chaleur, à moins pourtant qu'il ne s'agisse de chauffer et de ventiler des ateliers ou des séchoirs.

1106. Lorsqu'on ne peut pas employer utilement la chaleur de la condensation absorbée par de l'air ou de l'eau, et qu'il est important de diminuer le volume d'eau employé, il faut se servir de la disposition indiquée figure 16 (pl. 45). L'appareil se compose d'un serpent ordinaire environné d'un cylindre ouvert par les deux bouts, comme dans la figure 14; mais le serpent est surmonté d'une rigole annulaire, dont le fond est percé d'un grand nombre de petits trous par lesquels de l'eau s'écoule constamment; cette eau tombe en recouvrant toute la surface du serpent, elle s'échauffe et donne naissance à des vapeurs qui sont entraînées par le courant d'air. Il est évident que par ce moyen on pourra condenser les vapeurs qui parcourent le serpent, en consommant une quantité d'eau plus petite que le poids de la vapeur condensée, attendu qu'une partie de la chaleur est absorbée par l'air. Mais la surface de condensation, quoique plus petite que celle qu'exigerait le refroidissement par l'air seul, serait plus grande que si le serpent était immergé dans un liquide. Cette disposition serait surtout avantageuse pour évaporer une dissolution saline ou un sirop; nous y reviendrons en parlant de l'évaporation.

1107. Nous terminerons l'article relatif à la distillation simple par la description de l'appareil employé par M. Freycinet pour la distillation de l'eau de mer sur les navires. Cet appareil est représenté par les figures 1 et 2 (pl. 46); la première est une coupe verticale de l'appareil, la seconde une coupe horizontale suivant le plan MN.

Le vase A est le réservoir d'eau disposé de manière à servir de filtre. A cet effet, une toile métallique  $tt$ , placée à la partie supérieure, arrête les corps étrangers que l'eau entraîne avec elle, et un second tamis  $t't'$ , placé à la partie inférieure et plus fin que le premier, est destiné à rendre la filtration plus complète. L'eau, en sortant du vase A, se rend par le tube  $dd$ , muni du robinet  $e$ , dans le réfrigérant B, pour produire la condensation de la vapeur d'eau.  $cc$  est le tube qui conduit l'eau à l'extrémité du serpentin S, afin de rendre le refroidissement méthodique. C, chaudière de distillation d'où la vapeur s'échappe par le tuyau  $bb$  pour se rendre au serpentin. Sur le fond de la chaudière on a fixé une spirale que l'eau parcourt du centre à la circonférence avant d'être amenée à saturation. Cette spirale est maintenue à la partie supérieure par une plaque horizontale percée de trous et destinée à empêcher l'eau d'être lancée dans le tuyau à vapeur par des mouvements brusques du navire. Cette disposition de la chaudière est employée pour obtenir un repos relatif; les diaphragmes  $ll$ , percés de trous, tendent au même but. L'alimentation se fait avec l'eau du condensateur; cette eau se rend par un tube  $gg$  dans la caisse  $ii$  placée sous le cendrier, elle est conduite de là au centre de la chaudière par le tube  $aa$ , qui se recourbe à cet effet à une hauteur moindre que celle de l'eau dans la colonne  $cc$ .

F est le foyer. D, le cendrier. E, la cheminée formée d'une double enveloppe de tôle remplie de sable pour préserver des incendies.  $r$ , robinet d'écoulement de l'eau distillée.  $f$ , robinet qui sert à faire écouler l'eau de la chaudière quand elle a atteint le degré de concentration qu'il est bon de ne pas dépasser.

Un appareil dont les dimensions sont celles des figures, donne 912 litres d'eau par 24 heures. La consommation de combustible correspond à 5 kilog. par 38 litres d'eau obtenue, et le prix de revient est de 1<sup>cent.</sup>06 par litre.

1108. *Distillation dans le vide.* Considérons un siphon ABCD (fig. 17, pl. 45) terminé par deux réservoirs A et B, dans lequel on a fait le vide, et dont la branche AC renferme une certaine quantité de liquide. Si les réservoirs A et B sont maintenus chacun à une température constante, plus élevée pour le premier que pour le second, il est évident que le liquide renfermé dans le réservoir A produira constamment des vapeurs qui viendront se condenser dans le réservoir B.



1109. Pour opérer sur une petite échelle, on pourrait employer un siphon de verre de 0<sup>m</sup>,80 à 0<sup>m</sup>,90 de hauteur (fig. 18, pl. 45), qu'on remplirait de mercure, et qu'on renverserait ensuite dans une cuve à mercure après en avoir fermé les extrémités. Le mercure se maintiendrait dans chaque branche à une hauteur égale à celle du baromètre, et l'espace situé au-dessus de ces colonnes serait complètement vide. Alors, on pourrait faire passer le liquide au point A' en l'introduisant au-dessous de la colonne AA', et, en plaçant un mélange frigorifique autour du tube DD', la distillation s'effectuerait.

1110. On pourrait encore employer l'appareil (fig. 19, pl. 45), composé de deux ballons A et B, réunis par un tube horizontal, et garni des trois robinets *a*, *b* et *c*. Au moyen du premier, par lequel on établirait la communication de l'appareil avec une machine pneumatique, on y ferait le vide; par le second, on introduirait le liquide dans le ballon A; alors, en environnant le ballon B d'un corps froid, la distillation s'effectuerait, et, en ouvrant les robinets *a* et *c*, on ferait écouler le liquide distillé.

1111. Dans ces différents modes de distillation, la chaleur est fournie d'abord par le liquide lui-même, et ensuite par l'air et les corps environnants aussitôt que la température du liquide est sensiblement abaissée. On pourrait aussi fournir directement la chaleur au vase qui renferme le liquide à distiller, et condenser la vapeur par l'air ou par un liquide qui se renouvellerait. Dans ce cas, la dépense de combustible serait la même que quand la distillation a lieu sous la pression de l'atmosphère (1075-76). Ce mode d'opération peut être utile lorsque, par la nature du corps sur lequel on opère, il est important que la distillation ait lieu à une température peu élevée; c'est pourquoi nous donnerons quelques détails sur la disposition des appareils à employer.

L'appareil le plus simple (fig. 20, pl. 45) est analogue à ceux qu'on emploie pour la distillation ordinaire sous la pression de l'atmosphère; il n'en diffère que par le réservoir M adapté à l'extrémité du serpentin, et qui est destiné à recevoir les produits de la distillation. Le liquide qui doit être distillé est placé dans la chaudière A; on vide la cuve du serpentin, on ouvre les robinets *m*, *n* et *p*, et on chauffe le liquide de manière à l'amener à la température de l'ébullition. Les vapeurs qui se forment ne se condensent qu'en très-petite quantité, et sortent presque

en totalité par le robinet  $p$  du réservoir M. Après quelques instants, tout l'air que contenait l'appareil a été expulsé, et ce dernier n'est rempli que de vapeurs. A cette époque, on ferme le robinet  $p$ , on baisse le feu, et on remplit d'eau froide la cuve du serpentín; les vapeurs se condensent et le vide s'effectue dans l'appareil. Alors on ranime le feu et on le maintient au degré convenable; l'ébullition se manifeste à une température peu élevée, la condensation s'opère comme dans la distillation ordinaire, et les produits de la distillation se réunissent dans le récipient M. Si la distillation devait être continue, il faudrait de temps en temps enlever le liquide du réservoir M à l'aide d'une pompe, et alimenter la chaudière au moyen d'un tube d'aspiration garni d'un robinet. Ce mode d'opération a le grand inconvénient d'exiger que le liquide soit d'abord porté à la température de son ébullition dans l'air. Mais on pourrait éviter cet inconvénient en chassant l'air de l'appareil au moyen de la vapeur fournie par une chaudière à vapeur d'eau, qui serait placée à côté, et en n'introduisant le liquide à distiller dans l'alambic qu'après que l'air contenu dans l'appareil aurait été expulsé par la vapeur.

On emploie maintenant, dans la plupart des raffineries de sucre, des appareils dans lesquels l'évaporation des sirops a lieu dans le vide; ce sont, en réalité, des appareils de distillation dans le vide, mais comme ils ont pour objet la concentration, nous n'en parlerons que dans le chapitre consacré à l'évaporation.

1112. *Distillation sous des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère.* Dans certaines circonstances, il est avantageux de distiller sous des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère; on y parvient facilement en plaçant, dans le tuyau qui conduit les vapeurs dans le condensateur, une soupape qui ne s'ouvre que sous la pression qu'on veut atteindre; la soupape à poids inférieur (fig. 8, pl. 21) serait alors la plus commode.

1113. *Distillation au bain-marie, par la vapeur, etc.* Dans un grand nombre de distillations, il est important de ne pas faire agir directement le feu sur la chaudière, surtout quand le liquide renferme des substances seulement en suspension, qui, en se précipitant sur le fond de la chaudière, pourraient se brûler et altérer les produits de la distillation; alors on place la chaudière dans une autre pleine d'eau que



l'on chauffe directement, ou bien on chauffe la chaudière soit extérieurement, soit intérieurement, par la vapeur à une pression plus ou moins élevée. On pourrait aussi employer des bains d'huile, de dissolutions salines, etc. Comme ces modes de chauffage exigent des appareils semblables à ceux qu'on emploie pour l'évaporation, nous en remettons la description au chapitre suivant.

1114. *Distillations rapides.* Il y a quelques années, on a beaucoup parlé, dans les journaux scientifiques, de la rapidité avec laquelle on distillait les liqueurs vineuses en Écosse; elle était si grande relativement à celle qu'on obtient dans les appareils du continent, que plusieurs personnes doutaient de la véracité des rapports. La promptitude avec laquelle s'opérait la distillation dans les distilleries d'Écosse, paraît réellement incroyable. Un alambic contenant 80 gallons (305 litres), étant rempli de liqueur froide, celle-ci était chauffée, complètement distillée, et l'alambic rempli de nouveau, pour recommencer la distillation, dans trois minutes et demie; les alambics de 44 gallons (168 litres) n'exigeaient que 2 minutes et demie. Tout le secret consistait à employer de grandes surfaces de chauffe et à prodiguer le charbon, de manière que la chaudière laissât pénétrer le maximum de chaleur. Cette disposition était le résultat de la nature de l'impôt qui se payait par jour et par appareil; ainsi il était de l'intérêt du fabricant de sacrifier le combustible pour économiser le temps.

§ 2. — APPAREILS DE DISTILLATION ET D'ANALYSE DES VAPEURS.

1115. Jusqu'ici ces appareils ont été uniquement employés à la distillation des vins et des autres liqueurs alcooliques.

Pendant longtemps, pour obtenir de l'alcool concentré, ou seulement des eaux-de-vie à un titre élevé, on était obligé de faire une série de distillations qui entraînaient dans beaucoup de frais et de longueurs. Les appareils d'analyse de vapeurs ont pour objet de donner par une seule chauffe, de l'eau-de-vie à un degré quelconque, ou de l'alcool. Le premier appareil est dû à Adam de Montpellier; depuis on en a imaginé un nombre considérable. Nous nous bornerons ici à faire connaître les principes sur lesquels ils sont fondés, et nous décrirons ceux qui sont le plus employés.

1116. Le problème à résoudre est celui-ci : un mélange d'eau et d'alcool contenu dans une chaudière étant mis en ébullition, et produisant un courant continu de vapeur d'eau et de vapeur alcoolique, séparer en totalité ou en partie l'eau de l'alcool.

1117. Tous les appareils construits jusqu'ici sont composés, 1° d'une chaudière dans laquelle on met en ébullition le liquide à distiller; 2° de deux serpentins dont l'un est destiné à échauffer le liquide pour l'opération suivante, et l'autre à compléter la condensation de la vapeur; 3° d'un appareil destiné à analyser les vapeurs. C'est dans ce dernier que consiste la différence des systèmes. Dans tous cependant l'appareil d'analyse est disposé de manière à livrer au dernier serpentin les vapeurs suffisamment déphlegmées, et à faire retourner à la chaudière les vapeurs condensées trop aqueuses.

1118. Tous les appareils d'analyse des vapeurs alcooliques sont fondés sur un ou plusieurs des principes que nous allons exposer.

1° Lorsqu'un mélange de vapeurs d'eau et de vapeurs alcooliques passe dans un réfrigérant à air ou à eau, les premières vapeurs qui se condensent sont les plus aqueuses, les dernières sont les plus alcooliques; si le réfrigérant est insuffisant pour condenser la totalité des vapeurs, celles qui en sortent sont d'autant plus alcooliques, que leur température est moins élevée.

2° Un mélange d'eau et d'alcool bout à une température d'autant plus basse et les vapeurs sont d'autant plus alcooliques, que le mélange renferme moins d'eau et plus d'alcool.

3° Lorsque de la vapeur d'eau pure rencontre une liqueur alcoolique à une plus basse température, la vapeur d'eau se condense en grande partie, et la chaleur résultant de la condensation forme des vapeurs alcooliques.

1119. Dans plusieurs anciens appareils, on avait employé des réfrigérants à air plus ou moins longs, disposés verticalement; les vapeurs étaient d'autant plus déphlegmées que le canal était plus allongé. Mais comme le canal n'avait jamais une étendue suffisante, il ne produisait qu'une faible rectification.

1120. L'appareil d'Adam, dont l'apparition a fait époque dans l'histoire de la distillation, était fondé sur le second principe. Il était composé d'une chaudière et de plusieurs vases fermés d'une forme ovoïde; les



communications de ces différents vases étaient établies comme celles d'un appareil de Woolf. La partie supérieure de la chaudière communiquait avec le premier vase par un tuyau qui descendait jusqu'au fond de celui-ci. La partie supérieure du premier vase communiquait avec le second par un tube qui plongeait jusqu'au fond de ce dernier, et ainsi de suite. Enfin, le dernier communiquait avec le premier serpentin. La chaudière, les vases et le premier serpentin étaient d'abord remplis de la liqueur à distiller; on chauffait la chaudière, les vapeurs alcooliques qu'elle produisait se condensaient dans le premier vase; ce liquide, plus alcoolique que celui de la chaudière, entrait bientôt lui-même en ébullition, et produisait des vapeurs plus déphlegmées que celles de la chaudière, qui allaient se condenser dans le second vase, et ainsi de suite. On voit, d'après cela, que les liquides renfermés dans les vases étaient d'autant plus riches en alcool et donnaient des vapeurs d'autant moins aqueuses, qu'ils étaient plus éloignés de la chaudière. L'appareil était disposé de manière que l'on pût mettre en communication avec le serpentin le premier, le deuxième, ou le troisième vase; alors on obtenait à volonté de l'alcool à un degré quelconque. Cet appareil avait le grand inconvénient de produire une pression assez forte dans la chaudière.

1121. A la même époque, Solimani imagina un autre appareil d'analyse des vapeurs, qui était fondé sur le premier principe; cet appareil consistait en un condensateur à plaques parallèles, qui était plongé dans de l'eau à une température constante de  $40^{\circ}$ . Les vapeurs de la chaudière y arrivaient par le bas; celles qui se condensaient retournaient à la chaudière, et celles qui échappaient étaient très-déphlegmées et passaient dans le réfrigérant, où elles étaient entièrement condensées. En variant la température du condensateur on obtenait à volonté de l'alcool à un degré quelconque. Solimani avait imaginé un appareil très-simple pour maintenir l'eau à une température constante.

1122. L'appareil d'Isaac Bérard, qui parut peu de temps après, était fondé sur le même principe que celui de Solimani, mais la disposition était différente. L'appareil d'analyse des vapeurs consistait en un cylindre deux fois recourbé horizontalement et divisé en treize cases par des diaphragmes verticaux percés supérieurement et inférieurement. Le cylindre était plongé dans l'eau, et on pouvait à volonté faire parcourir aux vapeurs sortant de la chaudière un certain nombre des cases du

serpentin : il est évident que les vapeurs étaient d'autant plus déphlegmées, qu'elles en avaient parcouru un plus grand nombre.

1123. Nous ne pouvons pas entrer dans plus de détails sur ces appareils ; nous renvoyons, pour leur histoire, aux *Annales de l'industrie*, à l'ouvrage de Lenormand sur la distillation, à celui de F. Hermbstædt (Berlin, 1823), et pour l'art de la distillation, au *Traité* plus récent publié par M. Dubrunfaut, qui, sans contredit, est le meilleur ouvrage qui ait paru sur cette branche importante de l'industrie.

1124. Nous décrirons cependant avec quelques détails l'appareil de M. Ch. Derosnes, parce que c'est le plus parfait de tous, et qu'il satisfait à une condition importante, celle de la continuité du travail. Il est fondé sur le premier et sur le troisième principe.

1125. *Appareil distillatoire de M. Derosnes.* Cet appareil est essentiellement composé (fig. 3, pl. 46.) de deux chaudières A et A', d'une colonne distillatoire B, d'un rectificateur C, d'un condensateur chauffé par le vin D, d'un réfrigérant E, d'un seau de vidange à robinet régulateur F et d'un réservoir à vin G.

La chaudière A est garnie de la douille H destinée à la remplir, et du robinet R destiné à la vider. Le tube de verre  $x$  fait connaître la hauteur du liquide qu'elle contient. Le tuyau  $z$  conduit la vapeur au fond de la chaudière A'.

La chaudière A' est chauffée par le conduit à fumée du foyer de la chaudière A ; la douille H' et le tube de verre  $x'$  ont la même destination que dans la première. Le robinet R' sert à faire passer le liquide de la seconde chaudière dans la première.

La colonne distillatoire B renferme une série de diaphragmes à travers lesquels le vin tombe très-divisé et sous la forme de pluie, afin qu'il présente une très-grande surface à la vapeur qui chemine en sens contraire. Les pièces qui forment la colonne sont disposées de deux manières différentes. Dans la première, la vapeur est obligée de vaincre une pression de liquide de 2 centimètres environ ; dans l'autre, les diaphragmes sont garnis d'un grand nombre de tiges entre lesquelles la vapeur est obligée de passer. M. Derosnes regarde ces deux dispositions comme également bonnes, mais il préfère la dernière pour les liquides pauvres. La première présente plus de facilités pour le nettoyage des diaphragmes.



Des douilles latérales sont disposées de manière à faciliter cette dernière opération.

Le rectificateur C est disposé de la même manière que le reste de la colonne; il ne reçoit point d'autre liquide que celui qui se forme dans les premières hélices du condensateur D.

Le condensateur D est un cylindre de cuivre placé horizontalement, et qui est divisé en deux parties inégales par le diaphragme T; une ouverture pratiquée à la partie inférieure de ce diaphragme laisse communiquer entre elles ces deux capacités du condensateur. Le condensateur renferme un serpentin à hélices verticales dont l'origine communique avec le tuyau M qui termine la colonne distillatoire, et qui aboutit au tuyau O. Chaque spire reçoit à sa partie inférieure un petit tuyau *a* qui sort du condensateur, et communique avec un tuyau en pente, qui, au moyen d'un autre tuyau et de robinets convenablement disposés, peut conduire le liquide condensé dans une partie ou dans la totalité des spires, soit dans le tuyau O, soit dans le rectificateur. U, V, X, sont des ouvertures destinées à permettre le nettoyage de la colonne B. L est un tuyau qui conduit le vin chaud du condensateur à la colonne distillatoire.

Le réfrigérant E est un cylindre de cuivre fermé de toutes parts; il contient un serpentin dont l'origine communique avec le tuyau O, et dont l'extrémité inférieure permet l'écoulement au dehors du produit de la distillation. Il est surmonté d'un tuyau K, qui alimente de vin le condensateur. La partie inférieure du réfrigérant est alimentée elle-même par le tuyau qui amène le vin froid.

Le seau de vidange F est garni d'un robinet qui sert à régler l'écoulement du vin dans l'appareil: ce vase est alimenté par le réservoir G. Le liquide *y* est maintenu à une hauteur constante par un robinet à flotteur.

Pour mettre l'appareil en fonction, on commence par emplir la chaudière A du liquide à distiller, au moyen de la douille H; on en verse jusqu'à ce que le niveau s'élève jusqu'à 2 ou 3 pouces au-dessous de l'extrémité de l'indicateur *x*. On emplit également la chaudière A', mais on élève le niveau jusqu'à 5 ou 6 pouces au-dessus du robinet de décharge R': on observe le niveau à l'aide de l'indicateur *x'*. Alors on ouvre le robinet *r*; le tube I, le réfrigérant E et le condensateur D se remplissent de vin, l'air s'échappe par la douille H', et aussitôt que l'on

reconnait, par l'élévation du niveau du liquide dans la chaudière A', que le vin déverse par le tuyau L, on ferme le robinet *r*.

On allume le foyer placé sous la chaudière A; aussitôt que le vin renfermé dans cette chaudière entre en ébullition, la vapeur s'échappe par le tuyau *z*, vient se condenser dans la chaudière A', élève la température du liquide qui y est contenu, et comme cette chaudière est en outre chauffée par la fumée du foyer, le liquide ne tarde pas à y entrer en ébullition; les vapeurs alcooliques s'élèvent dans la colonne B, pénètrent dans les spires des serpentins, s'y condensent en grande partie, et les produits retournent en partie dans le rectificateur. Lorsque le réfrigérant D est suffisamment échauffé pour que l'on ne puisse plus y tenir la main, on ouvre les robinets R, R', *r*, et la distillation continue. Le vin arrivé par le tuyau I monte dans le réfrigérant E, où il commence déjà à s'échauffer, arrive dans la partie D' du condensateur dans laquelle il s'échauffe encore davantage, de là il passe, par l'ouverture inférieure du diaphragme T, dans la partie D'' du condensateur, où sa température s'élève presque jusqu'à l'ébullition; de là il tombe par le tube L dans la colonne distillatoire B, qu'il parcourt dans un état de division extrême. Arrivé dans la chaudière A', il passe dans la chaudière A par le robinet R', et de cette dernière il sort par le robinet R. Quant à la vapeur, elle suit la même route, mais son mouvement est dirigé en sens contraire. Pour voir comment se fait la séparation de l'alcool dans cet appareil, considérons d'abord l'instant auquel le liquide renfermé dans la chaudière A a perdu tout son alcool. Le liquide de A' est en pleine ébullition, le vin est presque bouillant dans le condensateur, et les vapeurs qui s'élèvent ainsi que le vin qui tombe dans la colonne B se rencontrent en se présentant de très-grandes surfaces; alors les vapeurs et le vin chaud s'analysent mutuellement, tout l'alcool qu'ils renferment s'élève, et une grande partie de l'eau, ainsi que la vinasse, retombent dans la chaudière A'. Après un certain temps, la chaudière A' ne renferme presque plus d'alcool, et la petite quantité qu'elle pourrait encore en contenir se dégage avec les vapeurs qu'elle fournit constamment, et s'il arrivait que le vin ne fût pas encore complètement dépouillé d'alcool dans la chaudière A', il le serait dans la chaudière A.

Ce qui se passe entre la vapeur et le vin chaud, dans la colonne distillatoire, a lieu dans le rectificateur C, entre la vapeur alcoolique formée



dans la colonne distillatoire, et l'alcool qui s'est formé dans les premières spires du condensateur, et qui entre dans le rectificateur par la partie supérieure seulement; le liquide qui tombe est encore riche en alcool, mais il est ensuite analysé dans la colonne B.

Ainsi, quand cet appareil est bien conduit, le vin y arrive continuellement, et la vinasse en sort aussi d'une manière continue.

On conçoit facilement que l'alcool que l'on obtiendra sera d'autant plus rectifié, que l'on fera communiquer avec le rectificateur un plus grand nombre de spires du serpentín du condensateur. On détermine par expérience, suivant la richesse du liquide et le degré de l'alcool qu'on veut obtenir, quels sont les robinets qu'on doit laisser ouverts.

L'appareil de M. Derosnes peut s'appliquer très-facilement à la distillation sans continuité; il suffit pour cela de remplir le réservoir, le réfrigérant et le condensateur avec de l'eau, et de luter l'extrémité inférieure du tube L, qui servirait alors à évacuer l'eau chaude.

1126. L'appareil que nous venons de décrire ne laisse rien à désirer sous le rapport de l'économie du combustible, de la rapidité des opérations et de la qualité des produits. Mais il est compliqué, parce qu'il est disposé de manière à permettre d'opérer sur des liquides d'une richesse alcoolique quelconque, et d'obtenir de l'alcool à un degré quelconque de concentration. Des appareils qui seraient destinés à distiller toujours des liquides de même nature et à produire des liqueurs alcooliques au même titre, seraient beaucoup plus simples. C'est le cas de l'appareil de M. Laugier, représenté planche 47, qui est destiné à la fabrication des eaux-de-vie de fécule. La figure 1 est une coupe longitudinale de l'appareil, la figure 2, le plan sans le fourneau, et la figure 3, une coupe du fourneau, suivant AB.

L'opération marche d'une manière continue. Le liquide à distiller est versé par l'entonnoir *p* dans le vase A, où il arrive à la partie inférieure pour servir à la condensation des vapeurs alcooliques, et produire un écoulement continu d'alcool par l'extrémité du serpentín renfermé dans le vase A. De ce vase, le liquide échauffé se rend, par le tube de communication *r*, dans le second vase B, où s'opère la rectification, au moyen du serpentín condensateur imaginé par M. Laugier. Le liquide se rend ensuite par le tube *cc* dans la seconde chaudière de distillation C, chauffée par la chaleur perdue du foyer placé sous la première

chaudière D, où se termine l'épuisement de la vinasse. *e* est le tuyau qui sert à faire passer le liquide de la seconde chaudière dans la première; *bb*, le tube qui conduit les vapeurs alcooliques dans le rectificateur. Le tube *cc*, dont nous avons parlé, et qui est représenté figure 4, est disposé de manière à prendre le liquide fermenté à la partie inférieure du vase B où il est plus échauffé; et pour que le vase B reste toujours plein, ce tube est recourbé en forme de siphon, et sa partie supérieure est en communication avec le serpentin condensateur, et par conséquent avec l'air, au moyen du tube *j*; *d*, tube ramenant les vapeurs condensées du rectificateur dans la chaudière C; *f*, tuyau de vidange de la vinasse épuisée; *g* et *h*, niveaux d'eau; *i*, tube conduisant les vapeurs non condensées du rectificateur dans le serpentin condensateur; *o*, tube qui met en communication le vase B avec le serpentin et par suite avec l'air extérieur.

Dans cet appareil, la rectification se fait d'elle-même. A cet effet, M. Laugier a disposé son serpentin rectificateur (fig. 5) de manière que les vapeurs alcooliques arrivent par la partie inférieure pour parcourir en montant toutes les hélices du serpentin; mais afin que les liquides ne s'opposent pas au mouvement des vapeurs, chaque hélice renvoie directement par un tube *t* les produits de la condensation dans un réservoir qui les conduit à la chaudière. Chaque hélice doit par conséquent être inclinée de manière que les vapeurs suivent le même chemin que les liquides, et la communication des hélices doit se faire par des tubes verticaux qui servent au passage des vapeurs d'une hélice dans l'autre. Le nombre des hélices doit être tel qu'on obtienne à la sortie de l'appareil, par la condensation complète des vapeurs, de l'alcool qui ait le degré commercial voulu.

Si le nombre des hélices était plus considérable, et si les tubes *t*, *t'*, *t''* communiquaient à l'extérieur avec de petits réservoirs séparés, il est évident qu'ils donneraient de l'alcool marquant des degrés de plus en plus élevés.

A la sortie du rectificateur, les vapeurs se rendent par le tube *i* dans le serpentin condensateur (fig. 6), dont le tube a un diamètre qui va constamment en diminuant à mesure que la condensation est plus avancée, jusqu'à l'extrémité où elle doit être complète et donner lieu à un écoulement continu d'alcool suffisamment refroidi.



§ 3. — APPAREILS DE DISTILLATION DANS LESQUELS LA CHALEUR EST UTILISÉE PLUSIEURS FOIS.

1127. Dans la distillation simple, la chaleur absorbée par la chaudière se dégage en totalité dans la vapeur, et une grande partie de cette dernière passe dans le liquide réfrigérant. Par exemple, dans la distillation de l'eau, en supposant que l'eau condensée soit à  $50^{\circ}$ , la vapeur renfermant 650 unités de chaleur, le liquide réfrigérant absorbe les  $\frac{12}{13}$  de la chaleur entraînée par la vapeur. Dans tous les cas, on peut employer une partie de cette chaleur pour chauffer le liquide destiné aux opérations suivantes; mais, à moins que le liquide ne doive être vaporisé qu'en partie seulement, il y a toujours beaucoup de chaleur perdue.

1128. Mais on peut employer un grand nombre de fois la chaleur qu'exige une première distillation, pour produire d'autres distillations. En effet, lorsque la vapeur se condense, elle émet exactement toute la chaleur qu'elle a absorbée lors de sa formation; et par conséquent, s'il n'y avait pas de chaleur perdue par le refroidissement de l'appareil, et si le liquide distillé était à la température extérieure, on pourrait employer un nombre infini de fois la même chaleur à produire la distillation de masses égales de liquide; mais comme le liquide devrait entrer en ébullition, il faudrait nécessairement que toutes les distillations se fissent à des pressions décroissantes, afin qu'il y eût entre le lieu où la vapeur se condense et le lieu où la chaleur latente de cette vapeur produit une nouvelle vaporisation, une différence de température nécessaire à la transmission de la chaleur. Nous commencerons d'abord par exposer le cas le plus simple, celui où les distillations successives ont lieu dans le vide.

Considérons (fig. 21, pl. 45) une série d'enveloppes métalliques A, A', A'', A''', dont les intervalles sont exactement fermés; la capacité centrale et les intervalles des enveloppes peuvent communiquer avec l'air extérieur par des tubes garnis des robinets  $a, a', a'', a'''$ , et avec une chaudière à vapeur par d'autres tubes garnis des robinets  $b, b', b'', b'''$ . Sur le sommet des enveloppes se trouvent des réservoirs D, D', D'', D''', percés latéralement d'un grand nombre de petits orifices destinés à faire écouler, sur les surfaces extérieures des enveloppes au-dessus desquelles ils sont placés, le liquide qu'ils renferment. Ces réservoirs sont

alimentés par des tubes qui communiquent avec un réservoir extérieur renfermant la liqueur à distiller. Les rigoles annulaires  $c, c', c'', c'''$  sont destinées à recevoir le liquide qui s'écoule contre les surfaces intérieures des enveloppes, et les rigoles  $d, d', d'', d'''$ , celui qui s'écoule contre les surfaces extérieures. Toutes les rigoles, excepté la dernière  $d'''$ , communiquent par des tubes  $e, e', e'', e''', f, f', f'', f'''$  avec des vases fermés, garnis chacun d'un robinet à la partie inférieure. Enfin, au-dessous de la capacité centrale se trouve une chaudière B, munie d'un double fond C, destiné à recevoir de la vapeur d'un générateur voisin; D est le tuyau de vidange de la chaudière; E, le tuyau d'admission de la vapeur; et F, le tuyau d'écoulement de l'eau condensée. Le tuyau d'alimentation de la chaudière B n'est pas indiqué dans la figure.

Supposons qu'on ouvre les robinets  $a, a', a'', a''', b, b', b'', b'''$ , ainsi que ceux qui sont adaptés aux vases auxquels aboutissent les tubes  $e, e', e'', e''', f, f', f'', f'''$ , la vapeur du générateur s'introduira dans les différentes capacités et dans les vases, et, dans un temps très-court, l'air en sera expulsé. Si alors on ferme tous les robinets, la vapeur, en se condensant, produira dans toutes les capacités un vide qui variera avec la température de l'eau et avec celle de la vapeur. Supposons maintenant qu'on remplisse la chaudière B, et qu'on amène le liquide à l'ébullition en introduisant de la vapeur dans le double fond C, et qu'en même temps on fasse arriver du liquide froid dans les réservoirs D, D', D'', D''', de manière que toutes les enveloppes A, A', A'', A''' soient recouvertes d'une lame mince de liquide. Il est évident que les vapeurs qui se développeront dans la capacité centrale M se condenseront contre la surface intérieure de l'enveloppe A, et que le liquide condensé tombera dans la gouttière  $c$ ; que le liquide qui mouille les surfaces extérieures de toutes ces enveloppes sera vaporisé, que les vapeurs iront se condenser contre les surfaces intérieures des mêmes capacités, que le liquide non vaporisé se réunira dans les gouttières  $d, d', d'', d'''$ , le produit de la distillation dans les gouttières  $e, e', e'', e'''$ , d'où ils se rendront dans les vases correspondants; et qu'enfin, si les liquides sortaient à la température ordinaire, on pourrait augmenter le nombre des enveloppes autant qu'on voudrait, et chacune d'elles distillerait exactement la même quantité de liquide, en employant successivement la chaleur absorbée par la première vaporisation.



La disposition de l'appareil que nous venons de décrire a uniquement pour objet de faire comprendre le principe de l'emploi successif de la même chaleur pour produire le même effet, et non de représenter un appareil qu'on puisse employer. Tel qu'il est indiqué, sa construction présenterait de très-grandes difficultés, surtout pour rendre les joints parfaitement étanches.

1129. La figure 4 (pl. 46) représente une disposition qui offrirait moins de difficulté dans l'exécution et plus de simplicité dans l'usage. A est une chaudière ordinaire dont la partie supérieure communique avec le serpentín B, qui aboutit au vase C. Le cylindre A', qui environne le serpentín B, communique de même avec un serpentín B', et ce dernier avec le vase C', et ainsi de suite. L'appareil est alors composé d'une série de chaudières et de serpentíns terminés par des vases fermés, et chaque chaudière est chauffée par la chaleur qui résulte de la condensation des vapeurs de l'appareil précédent. Un tube EF, qui communique avec un générateur, conduit la vapeur dans les vases A, A', A'', A''' par des tubes garnis des robinets *a, a', a'', a'''*. Le tube DD', qui communique avec le réservoir du liquide à distiller, le conduit dans les capacités A, A', A'', A''' par des tubes garnis des robinets *b, b', b'', b'''*. Les robinets *d, d', d'', d'''* sont les robinets de vidange des chaudières. Supposons que toutes les capacités étant pleines d'air, on ouvre les robinets *a, a', a'', a'''*, *c, c', c'', c'''*, il est évident que l'air sera expulsé par la vapeur. Si, après quelques instants, on ferme ces robinets et si on ouvre les robinets *b, b', b'', b'''*, les vases A, A', A'', A''' se rempliront du liquide à distiller; lorsque les vases seront remplis à la hauteur convenable, on fermera les robinets et on chauffera la chaudière A; les vapeurs produites se réuniront en C, le liquide de A' ne tardera pas à entrer lui-même en ébullition; et, dans un temps assez court, l'ébullition existera dans tous les vases, excepté dans le dernier, qui est ouvert et qui ne doit renfermer que de l'eau. Les chaudières peuvent être alimentées pendant l'opération; mais, pour vider les chaudières A, A', A'', A''', ainsi que les vases C, C', C'', C''', il faut faire rentrer l'air dans chacun des appareils distillatoires, ou faire communiquer les vases qu'on veut vider avec d'autres dans lesquels on aurait fait le vide par la vapeur.

1130. Dans ce qui précède, nous avons supposé qu'on faisait le vide par la vapeur; on pourrait le produire par une machine pneumatique

ou par une disposition très-simple qu'il est bon de connaître; nous l'appliquerons d'abord à un appareil à simple effet représenté (fig. 5, pl. 46).

A est une chaudière de distillation ordinaire, placée à une assez grande hauteur pour qu'un tuyau EF, qui part de sa partie inférieure et qui plonge dans un vase M ouvert et plein du liquide à distiller, ait une hauteur plus grande que celle qui ferait équilibre à la pression atmosphérique. Cette chaudière communique avec un serpentin B placé dans un vase ouvert alimenté par de l'eau à la méthode ordinaire. Le tube de communication de la chaudière avec le serpentin est interrompu par deux tubes de verre parallèles *ab* et *cd*, communiquant par leur partie inférieure, l'un avec la chaudière, l'autre avec le serpentin, et entre eux par la partie supérieure, au moyen d'un tube métallique garni d'un petit robinet *e*. Le serpentin se termine par un tube CD qui plonge, par sa partie inférieure, dans un vase N, renfermant jusqu'à une certaine hauteur le produit de la distillation. La chaudière et le serpentin sont surmontés chacun d'un tube garni d'un robinet et terminé par un entonnoir. Enfin, du fond de la chaudière part un tube IK qui plonge dans un vase P, rempli en partie du résidu de la distillation. Pour faire le vide dans l'appareil, on ferme tous les robinets, excepté ceux qui sont désignés par les lettres *e, f, g*, et on verse du liquide à distiller par l'entonnoir G, et du liquide distillé par l'entonnoir H. L'air renfermé dans l'appareil se dégage par le robinet *e*; lorsque les deux niveaux ont atteint le sommet des tubes de verre *ab* et *cd*, on ferme les robinets *e, f, g*, et on ouvre les robinets *i* et *h*; les liquides renfermés dans A et B s'écoulent, et il n'y reste qu'une faible pression résultant de l'air qu'on n'a pas expulsé, et de celui qui a pu se dégager des liquides introduits. Si on voulait obtenir un vide plus complet, on pourrait remplir de nouveau l'appareil ou employer des liquides qui auraient été purgés d'air par une récente ébullition; mais cette exactitude n'est pas nécessaire. On ferme alors le robinet *h*, et on remplit la chaudière A du liquide à distiller, en ayant bien soin de ne pas laisser rentrer l'air, et, pour cela, il faut remplacer l'entonnoir G par un vase d'une grande capacité renfermant le liquide à distiller. La chaudière étant pleine, on verse de l'eau dans le vase qui environne le serpentin, et on chauffe la chaudière A. Le vase P et le tube IK servent à vider la chaudière A quand cela est nécessaire, sans introduire de l'air; il suffit, pour cela, d'ouvrir les robinets *m* et *n*. Le



robinet supérieur est destiné à ne pas introduire de liquide non distillé dans le tube IK, quand on fait le vide. On voit que si les joints de l'appareil étaient parfaitement étanches, il ne serait nécessaire de faire le vide qu'une seule fois.

1131. La figure 1<sup>re</sup> (pl. 48) représente un appareil à effets multiples, disposé d'une manière analogue. Les chaudières A, A', A'', A''' communiquent toutes entre elles et avec un tube vertical qui plonge dans un vase N renfermant du liquide à distiller. Elles communiquent également avec un autre tube vertical plongé dans un vase P renfermant le résidu de la distillation; enfin, tous les serpentins communiquent entre eux et avec un tube vertical qui plonge dans le vase M qui reçoit le liquide distillé. Tous les vases communiquent, en outre, avec un grand tube CC', constamment rempli par un réservoir supérieur de liquide à distiller; les tubes de communication des chaudières et des serpentins sont garnis de tubes de verre parallèles et de robinets à air; enfin, le tube vertical, qui est en communication avec les serpentins, porte un tube latéral qui s'élève à une hauteur qui dépasse celle des tubes à air, et qui est terminé par un robinet et un entonnoir.

Pour faire le vide dans l'appareil, on ferme les robinets *i* et *h*, on ouvre les robinets *e, e', e'', e'''*, *a, a', a'', a'''*, *b, b', b'', b'''*, et on verse du liquide distillé par l'entonnoir H. Lorsque les niveaux sont arrivés au sommet des tubes de verre, on ferme les robinets *e, e', e'', e'''*, *a, a', a'', a'''* et *g*, et on ouvre les robinets *i* et *h*. Lorsque les vases et les serpentins sont vides, on ferme les robinets *h, b, b', b'', b'''*, on remplit les vases par les robinets *a, a', a'', a'''*, et on chauffe la chaudière A. Pour enlever les liqueurs épuisées, on emploie les robinets *c, c', c'', c'''* et *n*; elles se réunissent dans le vase P.

Cette disposition présenterait une très-grande économie de combustible, surtout si les vases distillatoires étaient enveloppés de manière à ne perdre que peu de chaleur par le milieu environnant, et si on chauffait le liquide à distiller par le liquide distillé. Mais tel qu'il est décrit, l'appareil est déjà bien compliqué; il serait d'ailleurs difficile de rendre tous les joints parfaitement étanches, et surtout les robinets; on pourrait cependant placer les robinets dans des vases renfermant de l'eau ou une huile visqueuse qui pénétreraient plus difficilement que l'air à travers les petits interstices qui pourraient exister.

1132. La figure 2 (pl. 48) représente l'élevation d'un appareil destiné à employer quatre fois de suite la chaleur développée dans le foyer, en opérant les distillations sous des pressions plus grandes que celle de l'atmosphère. L'appareil se compose d'une chaudière A, chauffée directement, et qui communique avec un serpentin B se terminant par un réservoir fermé C; les vases fermés A', A'', A''', qui sont chauffés par la condensation des vapeurs, communiquent de même avec les serpentins des vases qui suivent, et qui se terminent par des vases fermés C, C', C''; les chaudières A, A', A'', A''' sont garnies de soupapes D, D', D'', D''', qui ne permettent à la vapeur de se dégager que sous une pression déterminée; les poids de ces soupapes doivent être calculés de manière que les différences de température des chaudières soient les mêmes, afin que les quantités de vapeur produites par les différents appareils soient égales. Dans la chaudière A''', dont le serpentin communique avec un vase ouvert, la température sera de 100°; ainsi, si on suppose, pour effectuer la condensation, que la différence de température des serpentins et de l'eau environnante soit de 10°, dans la chaudière A'', la température devra se trouver à 110; elle sera de 120 dans la chaudière A', et de 130 dans la chaudière A. Le dernier serpentin B''' est plongé dans un vase ouvert renfermant de l'eau, et le vase C''' auquel il aboutit est aussi complètement ouvert. Chaque chaudière communique par un tuyau garni d'un robinet avec un tube EF qui est constamment plein du liquide à distiller; elle est en outre garnie d'un tube de niveau, d'une soupape de sûreté et d'un tuyau de vidange. Les vases C, C', C'', C''' sont également garnis de tubes de niveau et de robinets de décharge qui sont placés sur un tuyau commun refroidi. Pour faire fonctionner l'appareil, on remplit les chaudières du liquide à distiller, et on règle le feu de manière que les soupapes de sûreté des chaudières restent fermées; l'ébullition s'établit bientôt dans tout l'appareil. On peut vider les chaudières en totalité ou en partie pendant l'opération par les robinets *b, b', b'', b'''*, et on peut les remplir en ouvrant les robinets *a, a', a'', a'''*, en supposant toutefois que le réservoir alimentaire soit assez élevé; dans le cas contraire, l'alimentation pourrait se faire au moyen d'un vase intermédiaire, terminé par deux robinets, qu'on remplirait d'abord de liquide en ouvrant le robinet supérieur, et qu'on viderait ensuite dans la chaudière en ouvrant le robinet inférieur; il faudrait évidemment que le tube d'ali-



mentation ne plongeât pas dans le liquide de la chaudière, et que le robinet inférieur eût un orifice assez grand pour permettre au liquide de tomber, et à la vapeur de s'élever dans le vase. On pourrait aussi employer les différents appareils d'alimentation des chaudières à haute pression dont nous avons parlé.

1133. On pourrait également vider les vases C, C', C'', C''', pendant l'opération; mais il faudrait refroidir par un courant de liquide le tube GH par lequel les liquides distillés s'écoulent, attendu que tous, excepté celui du vase C'', se trouvent à une température supérieure à celle de leur ébullition dans l'air.

1134. Cet appareil serait beaucoup plus facile à exécuter et à conduire que celui dont nous avons parlé précédemment; je ne connais pourtant aucun cas de distillation dans lequel l'économie de combustible soit assez importante pour permettre d'employer un appareil aussi compliqué. Il n'en est pas de même de l'évaporation, et nous verrons dans le chapitre suivant, que des dispositions analogues sont employées dans plusieurs grandes industries.

---

## CHAPITRE XI.

### ÉVAPORATION.

---

1135. La distillation et l'évaporation ont toutes deux pour objet de séparer une ou plusieurs substances volatiles, mêlées ou combinées avec des substances fixes ou seulement moins volatiles; mais dans la distillation le but est de recueillir les substances volatiles, au lieu que dans l'évaporation le but est de recueillir les matières fixes ou celles qui sont moins volatiles.

1136. L'évaporation et la distillation ont encore une autre différence essentielle; la distillation, devant toujours avoir lieu en vase clos, ne peut s'effectuer qu'à la température de l'ébullition; l'évaporation, au contraire, peut s'effectuer à toutes les températures, du moins quand elle a lieu dans des vases ouverts où l'air puisse facilement se renouveler. L'évaporation en vase clos est une véritable distillation.

1137. L'évaporation peut s'effectuer dans un grand nombre de circonstances particulières; elles sont toutes comprises dans la nomenclature suivante :

- Évaporation spontanée à l'air libre;
  - Évaporation par un courant d'air forcé à la température ordinaire;
  - Évaporation à vase ouvert par l'action directe d'un foyer;
  - Évaporation d'un liquide échauffé par un courant d'air forcé froid ou chaud;
  - Évaporation par la vapeur;
  - Évaporation dans le vide;
  - Évaporation par l'emploi réitéré de la même chaleur.
- Nous examinerons successivement ces différents cas.



## § 1. — ÉVAPORATION SPONTANÉE A L'AIR LIBRE.

1138. Ce mode d'évaporation est principalement employé pour concentrer les dissolutions de sel marin. Examinons d'abord les phénomènes qui accompagnent l'évaporation spontanée, afin d'en déduire les circonstances les plus avantageuses à ce mode d'évaporation.

1139. Lorsqu'un liquide est exposé à l'air libre, l'air situé au-dessus de lui se sature de vapeur, il devient plus léger, s'élève, et se trouve bientôt remplacé par de nouvelles couches d'air, qui, après s'être saturées, s'élèvent à leur tour, et ainsi de suite. Il se forme donc deux courants, l'un de couches saturées qui montent; l'autre de couches dans leur état naturel, qui descendent sur le liquide. Ce mouvement est absolument semblable à celui qui a lieu dans une masse d'air qu'on chauffe par le bas. La quantité de vapeurs que le liquide peut fournir à l'air ambiant est proportionnelle à la différence entre la tension du liquide et celle de la vapeur déjà existante dans l'air. Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, l'évaporation dans le même temps sera d'autant plus grande que le liquide sera plus chaud, et que l'air sera plus éloigné de la saturation. Il est évident que si l'air est déjà saturé de vapeur d'eau, l'évaporation sera nulle : c'est ce qui arrive toujours après un certain temps, quand l'air qui est au-dessus du liquide ne communique pas librement avec l'atmosphère, car il a bientôt atteint le point de saturation, et l'évaporation qui, jusqu'à cet instant, est allée continuellement en diminuant, cesse alors complètement.

1140. Si l'air est fortement agité, les couches qui viennent se saturer à la surface du liquide se renouvellent beaucoup plus promptement que quand leur mouvement est uniquement dû aux variations de densité; par conséquent l'évaporation est beaucoup plus rapide. Il est encore évident que l'évaporation n'ayant lieu qu'à la surface même du liquide, tout étant égal d'ailleurs, l'effet produit dans un temps donné croît avec l'étendue de cette surface.

1141. De là nous pouvons conclure que l'évaporation spontanée est d'autant plus active,

1° Que la surface libre du liquide est plus étendue;

2° Que la température du liquide et de l'air ou seulement de l'un des deux est plus élevée;

3° Que l'air est plus sec ;

4° Que l'air est plus fortement agité.

1142. Dans les appareils d'une grande dimension, on ne peut disposer complètement que d'un seul des éléments précédents, l'étendue de la surface du liquide, et l'on est obligé de subir l'influence de toutes les variations des autres éléments occasionnées par les changements de l'atmosphère; seulement on a soin de choisir pour les opérations la saison la plus chaude de l'année et l'exposition la plus favorable.

Jusqu'ici on n'a employé que deux méthodes d'évaporation spontanée, et toutes deux n'ont encore été appliquées qu'à l'extraction du sel marin.

1143. La première consiste à exposer la dissolution saline dans de grands bassins d'une très-petite profondeur, situés sur les bords de la mer ou des étangs qui communiquent avec elle; l'eau de mer est élevée dans ces bassins ou par des machines hydrauliques ou par des machines à vapeur. L'opération commence ordinairement dans le mois de mars et se termine en septembre. Les bassins sont garnis d'argile et sont ordinairement de deux espèces : les premiers, plus grands et plus profonds que les autres, reçoivent les eaux neuves qui y sont concentrées jusqu'à saturation; les autres, d'une petite profondeur, reçoivent des premiers les eaux qui y déposent les cristaux.

1144. Le second mode d'évaporation consiste à remplir de fascines un bâtiment à claire-voie en bois, au-dessus duquel on élève les eaux à évaporer, et que l'on fait tomber à travers des fascines; l'eau, divisée par les nombreux obstacles qu'elle rencontre dans sa chute, présente une grande surface à l'air, et éprouve, surtout quand l'air est sec et agité, une forte évaporation. Ces appareils portent les noms de bâtiments de graduation; ils ont un grand avantage sur le premier mode d'évaporation, parce qu'ils sont abrités de la pluie, et qu'on ne les met en activité que dans les circonstances favorables. (Voir, pour plus de détails, le 2<sup>e</sup> volume du *Traité de chimie appliquée aux arts*, de M. Dumas.)

1145. Dans toutes les évaporations spontanées, la chaleur nécessaire à la vaporisation est fournie par le liquide et par l'air; l'évaporation ne coûte donc que l'intérêt du capital employé en terrain, bâtiments, machines, le prix de la main d'œuvre et celui d'une certaine quantité de combustible quand les eaux sont élevées par des machines à vapeur. Le



prix de l'évaporation spontanée est beaucoup plus petit que celui de l'évaporation par la chaleur : en effet, d'après M. Payen, le prix de l'extraction de 100 kilog. de sel dans les marais salants, varie de 0,60 à 2,50 suivant la localité et les circonstances atmosphériques qui ont accompagné l'opération; or, l'eau de la mer renfermant 0,025 de sel marin, pour extraire 100 kilog. de sel, il faudrait évaporer 3900 kilog. d'eau, évaporation qui exigerait à peu près  $3900 : 5 = 780$  kilog. de houille, qui, au prix moyen de 3 francs l'hectolitre de 80 kilog., coûteraient 29,25<sup>c</sup>.

1146. L'évaporation spontanée ne peut pas se produire sur toutes les dissolutions de sels ou d'autres matières solubles dans l'eau, parce qu'il y a un grand nombre de ces substances qui, ayant une grande affinité pour l'eau, ne peuvent la céder à l'air que quand elles en renferment une grande quantité; quand, au contraire, elles sont en dissolutions très-concentrées, non-seulement l'évaporation spontanée n'a plus lieu, mais plusieurs d'entre elles absorbent au contraire l'humidité de l'air. Pour celles-là, il faut nécessairement avoir recours à l'évaporation par la chaleur.

§ 2. — ÉVAPORATION PAR UN COURANT D'AIR FORCÉ A LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE.

1147. L'évaporation spontanée des liquides dans l'air atmosphérique croît, comme nous l'avons vu, à mesure que la surface du liquide est plus étendue, que l'air se meut plus rapidement, et qu'il est plus sec et plus chaud.

1148. La plupart et même la totalité de ces circonstances peuvent être réunies artificiellement; le mouvement de l'air exigerait la dépense d'une force motrice; la dessiccation de l'air, celle d'une substance très-hygro-métrique; et son échauffement celle d'un combustible. Je ne crois pas qu'on ait fait encore d'expériences sur l'évaporation par un courant d'air forcé, desséché et chauffé. Mais Montgolfier a fait, sur l'évaporation par un courant d'air atmosphérique dans l'état où il se trouve ordinairement, des expériences qui présentent un grand intérêt; elles ont été rapportées par Clément et Desormes, dans un mémoire inséré dans les *Annales de chimie*, tome 76.

1149. Le projet de Montgolfier était de concentrer des marcs de raisin avant leur fermentation, en leur conservant tous les principes fermentescibles, de manière qu'ils pussent être transportés à peu de frais, et convertis partout en vin, en les délayant avec une suffisante quantité d'eau et les faisant fermenter. Pour satisfaire à ces conditions, il fallait opérer la concentration rapidement, et à une température peu élevée.

1150. Le principe de l'appareil de Montgolfier est le même que celui sur lequel sont fondés les bâtiments de graduation, dont nous avons parlé, mais le liquide très-divisé était traversé par un courant d'air produit à l'aide d'une machine.

Les premiers essais de Montgolfier eurent lieu en 1794; il fit plusieurs conserves de fruits, entre autres celles de pommes et de raisin. La première, qui était en grande quantité, car il en avait fabriqué plus de 1500 kilog., avait un goût très-agréable. En 1797 il répéta ses expériences à Paris, et il obtint des résultats aussi satisfaisants.

1151. Montgolfier avait reconnu que, dans l'état ordinaire où se trouve l'air en automne, il peut, terme moyen, dissoudre 3 grammes d'eau par mètre cube, en ayant égard à sa température et à son état hygrométrique. Or un homme, par son travail d'un jour composé de 6 heures d'un travail effectif, peut donner, à l'aide d'une machine, 5 mètres de vitesse à environ 70,000 mètres cubes d'air. La quantité d'eau qu'il pourra évaporer sera donc  $70,000 \times 3 \text{ g.} = 210 \text{ kilog.}$ ; en supposant que le prix de la journée d'un manœuvre coûte 1 f. 50, on voit que l'évaporation de 100 kilog. d'eau coûterait  $\frac{1,50}{2,10} = 0 \text{ f., } 71$ , tandis que, par la méthode ordinaire, cette quantité de vapeurs exigerait à peu près 20 kilog. de houille, dont le prix est 1 fr. : en ajoutant à cette dépense celle des chaudières, des fourneaux, leurs réparations, les journées du chauffeur, etc., on verra que le mode d'évaporation par un courant d'air forcé est beaucoup plus économique que celui qui est ordinairement employé.

On pourrait d'ailleurs réduire beaucoup la dépense de l'évaporation par l'air, en diminuant sa vitesse, car on sait que la force vive qui est réellement celle que l'on consomme et que l'on paye, croît comme le



carré de la vitesse; ainsi en diminuant la vitesse de moitié, on pourrait quadrupler, avec le même travail, la masse d'air mise en mouvement.

En admettant que le sucre forme un quart du moût de raisin, la concentration de 400 kilog. de sirop exigerait une dépense de 2 fr. 10.

1152. On pourrait employer un grand nombre d'appareils différents pour produire le courant d'air qui doit traverser le liquide; le plus simple est le ventilateur à force centrifuge de Désaguillier.

Les figures 3 et 4 (pl. 48) représentent une coupe et le plan de l'appareil complet de concentration qui a été décrit par Clément.

A B manivelle de 0<sup>m</sup>,40 de longueur, à laquelle un homme fait faire un tour en une seconde; B C est un axe fixé à la manivelle et portant à l'extrémité C une roue dentée, engrenant dans un rouet D dont le nombre des fuseaux est deux fois plus grand que celui des dents de la roue, de sorte qu'il ne fait qu'un tour tandis que la roue en fait deux; le rouet D est fixé à un axe EF, qui porte par un pivot sur le palier E, et qui est maintenu verticalement en F par un collet en cuivre fort juste, mais le laissant cependant tourner librement; cet axe EF porte six à huit ailes de 1<sup>m</sup>,50 de longueur, sur 0<sup>m</sup>,50 de hauteur; leurs nervures sont en fer et recouvertes de toile cirée ou de planches de bois très-minces; ce moulin tourne entre deux plans circulaires parallèles, aussi rapprochés des ailes que possible et qui débordent un peu le bout des ailes; les plateaux sont maintenus par des traverses verticales clouées à leur circonférence. Le plateau inférieur est percé d'une ouverture centrale G H de 0<sup>m</sup>,92 de diamètre, ou de 0<sup>m</sup>,65 de surface. Un cylindre de même diamètre I K, et de 1 mètre de hauteur, s'y trouve fixé; il est soutenu de manière à ne pas s'appuyer sur l'appareil inférieur. L M est le couvercle de la caisse NOPQ; il est percé d'un trou correspondant au cylindre I K, et garni d'un cylindre semblable au cylindre supérieur qui peut le joindre exactement; on colle du papier sur les joints pour éviter le passage de l'air. La caisse NOPQ est un prisme rectangulaire de 2<sup>m</sup>,5 de côté, sur 1<sup>m</sup>,75 de hauteur; on y place des brins de bois blanc dépouillés de leur écorce et bien propres, par lits réguliers, se croisant alternativement, et laissant plus d'espace libre en bas qu'en haut; c'est sur ce tas que se disperse le jus que l'on veut concentrer; il entre par de petits trous ménagés dans le grand couvercle, de manière à le répartir aussi uniformément que possible sur les petits bâtons. On doit laisser

au-dessus des bâtons jusqu'au couvercle un espace libre de 0<sup>m</sup>,31 au moins de hauteur pour ne pas diminuer le passage de l'air; on doit aussi ne serrer les bâtons qu'autant qu'il le faut pour qu'une section horizontale présente au moins une surface libre de 1<sup>m</sup>,9; le fond de la caisse est formé d'une grille en bois, dont les barreaux sont très-écartés; au-dessous se trouve un grand vase en bois ou en cuivre mince, destiné à recevoir le sirop concentré.

Cet appareil est mal disposé; et on obtiendrait un bien plus grand effet en desséchant l'air par la chaux ou en le chauffant à une température comprise entre 50 et 100°, température qui, dans tous les cas, ne serait pas de nature à altérer les jus, d'autant plus qu'une grande partie de la chaleur de l'air serait employée à former de la vapeur et non à chauffer le liquide. On pourrait même sans inconvénient élever la température du liquide, et remplacer le travail mécanique par une cheminée d'appel dans laquelle le tirage serait produit par la chaleur qui n'aurait pas été utilisée dans le chauffage du liquide et de l'air. Nous reviendrons plus tard sur cet objet.

§ 3. — ÉVAPORATION A VASES OUVERTS PAR L'ACTION DIRECTE D'UN FOYER.

1153. On exécute toutes les évaporations à l'air libre par la chaleur, en plaçant la chaudière qui contient le liquide à évaporer sur un foyer, ou du moins en l'exposant à un courant d'air chaud.

1154. Lorsqu'un liquide est en contact avec l'air, l'évaporation se manifeste en général avant même que le liquide commence à s'échauffer, car nous savons que les liquides émettent des vapeurs à toutes les températures; mais cette évaporation est extrêmement faible. A mesure que le liquide s'échauffe, l'évaporation va en croissant, et une partie de la chaleur reçue par le liquide se perd par cette évaporation; par conséquent la température du liquide croît beaucoup plus lentement que si la chaudière était fermée; il peut même arriver que le liquide n'atteigne jamais la température de l'ébullition. En effet, si la surface du liquide exposée à l'air est très-grande relativement à la quantité de combustible brûlée, l'évaporation, qui est proportionnelle à la surface, pourra, à une certaine température du liquide, emporter une quantité de cha-



leur égale à celle que le liquide reçoit du foyer, et par conséquent sa température restera alors stationnaire.

Dans tous les cas, que le liquide atteigne ou n'atteigne pas la température de l'ébullition, on admet généralement que la quantité de chaleur nécessaire à l'évaporation est la même à une température quelconque qu'à celle de l'ébullition; mais il n'en est point ainsi, elle augmente rapidement à mesure que la température est moins élevée, parce qu'il y a de la chaleur perdue par l'échauffement de l'air et par le rayonnement du liquide.

La perte de chaleur due à la première cause peut facilement se calculer.

1155. Le tableau suivant renferme les tensions de l'air et de la vapeur dans l'air saturé sous la pression de 0<sup>m</sup>,76, à des températures comprises entre 20° et 90°; les poids de la vapeur et de l'air renfermés dans 1 mètre cube, ainsi que les quantités de chaleur contenues dans l'air et dans la vapeur.

TEMPÉRAT.	TENSION de la VAPEUR.	TENSION de L'AIR.	POIDS de la VAPEUR.	POIDS de L'AIR.	CHALEUR de la VAPEUR.	CHALEUR de L'AIR.	CHALEUR TOTALE.
	m.	m.	k.	k.	unités.	unités.	unités.
20	0,017	0,743	0,016	1,18	10	6	16
30	0,030	0,730	0,028	1,13	18	8,4	26,4
40	0,053	0,707	0,046	1,05	30	10,5	40,5
50	0,088	0,672	0,063	0,96	41	12	53
60	0,144	0,616	0,106	0,86	69	12,9	81,9
70	0,229	0,531	0,142	0,72	92	12,6	104,6
80	0,352	0,408	0,199	0,53	129	10,6	139,6
90	0,525	0,235	0,251	0,30	163	6,75	169,7

1156. Les nombres renfermés dans la dernière colonne représentent les quantités de chaleur absorbées par la vaporisation des quantités d'eau indiquées dans la quatrième colonne; on trouve alors facilement que la vaporisation de 1 kilog. d'eau absorberait les quantités de chaleur suivantes, en ayant égard à la chaleur absorbée par l'air.



	Unités.
A 20° .....	1000
30 .....	942
40 .....	880
50 .....	841
60 .....	772
70 .....	736
80 .....	701
90 .....	676

1157. Cherchons maintenant à estimer la perte de chaleur par le rayonnement. Il résulte des expériences directes faites pour cet objet, que 1 mètre carré de surface d'eau à 40° évapore à très-peu près 1 kilog. d'eau pendant une heure dans un air calme. Alors, en admettant la loi observée par Dalton, savoir, que les quantités d'eau évaporées dans le même temps sont proportionnelles aux tensions de la vapeur, les quantités d'eau évaporées par heure et par mètre carré seraient

	k.
A 20° .....	0,32
30 .....	0,57
40 .....	1,00
50 .....	1,70
60 .....	2,71
70 .....	4,32
80 .....	6,64
90 .....	10,00

1158. Il résulte aussi des expériences de Leslie, que le rayonnement de l'eau est égal au  $\frac{10}{9}$  de celui du verre dans les mêmes circonstances. Mais, comme nous le verrons plus tard, quand une surface vitreuse se refroidit dans l'air, la quantité de chaleur perdue par le rayonnement est égale à celle qui est perdue par le contact de l'air, et la quantité totale de chaleur perdue par heure et par mètre carré est de 968 unités pour une différence de température de 85°; la perte due au rayonnement seul est donc dans les mêmes circonstances de 484 unités, et pour une différence de température de 10° de 57 unités; et comme le rayonnement de l'eau est les  $\frac{10}{9}$  de celui du verre, le rayonnement de l'eau par mètre carré, par heure et pour une différence de température de 10°, sera de 63.



1159. Il résulte de là que la perte de chaleur par le rayonnement de l'eau pour l'évaporation de 1 kilog. d'eau à la température de 20°, l'air extérieur étant à 0°, sera  $63.2 \cdot \frac{1}{0,32} = 381$ . Par des calculs analogues, on trouve pour les pertes de chaleur par le rayonnement, à différentes températures et pour chaque kilogramme d'eau vaporisé, les nombres suivants :

	Unités.
A 20° .....	381
30 .....	331
40 .....	252
50 .....	185
60 .....	139
70 .....	102
80 .....	75
90 .....	56

1160. Alors, en réunissant les pertes par l'air et par le rayonnement, on trouve, pour les quantités de chaleur absorbées pour l'évaporation de 1 kilog. d'eau à différentes températures, les nombres suivants :

	Unités.
A 20° .....	1381
30 .....	1273
40 .....	1132
50 .....	1026
60 .....	911
70 .....	838
80 .....	776
90 .....	732

1161. Pour vérifier ces résultats, j'ai suspendu à une balance tres-sensible un vase cylindrique en fer blanc, de 0<sup>m</sup>,30 de diamètre, de 0,05 de profondeur, et placé dans un autre d'un plus grand diamètre et d'une plus grande section. J'ai rempli le vase intérieur d'eau chaude, l'intervalle des deux vases de coton cardé, afin de supprimer presque complètement le refroidissement latéral, et j'ai observé le refroidissement que le vase a éprouvé pour des pertes successives de 10 grammes. Les températures observées ont été les suivantes :

58°,25 ; 55°,25 ; 52° ; 48°,5 ; 44°,75 ; 40°,75 ; 36°,25 ; 31°,25.



Ainsi, les abaissements de température correspondants à des diminutions successives de poids de 10 grammes, ont été de

3; 3,25; 3,50; 3,75; 4; 4,50; et 5°.

Le poids de l'eau renfermée dans le vase ayant été primitivement de 2413 grammes, on trouve, par un calcul fort simple, que les quantités de chaleur absorbées pour évaporer 1 kilog. d'eau, ont été

		Unités de chaleur.
De 58,25 à	55,25 .....	724
55,25	52° .....	780
52°	48,50.....	837
48,5	44,75.....	893
44,75	40,75.....	949
40,75	36,25.....	1063
36,25	31,25.....	1176

1162. Les dernières observations se rapprochent assez des résultats que nous avons calculés, mais les premières s'en éloignent beaucoup plus. La différence provient probablement de ce que pour les températures élevées, l'air est échauffé, en partie du moins, par la condensation des vapeurs qui passent à l'état vésiculaire.

1163. Mais quelle que soit la cause de cette différence, le calcul et l'expérience concourent à démontrer que l'évaporation dans des chaudières ouvertes coûte plus de combustible aux températures inférieures à celle de l'ébullition, et d'autant plus que la température est moins élevée.

1164. Le tableau suivant renferme les poids et les volumes d'air à 0°, et sous la pression ordinaire, nécessaires pour évaporer 1 kilogr. d'eau à différentes températures, ainsi que les quantités de chaleur absorbées par cet air.

	k.	m.c.	Unités.
A 20° .....	73,75 .....	56,73 .....	369
30 .....	40,35 .....	31,04 .....	303
40 .....	22,82 .....	17,55 .....	228
50 .....	15,24 .....	11,72 .....	190
60 .....	8,11 .....	6,24 .....	122
70 .....	5,07 .....	3,90 .....	90
80 .....	2,66 .....	2,04 .....	53
90 .....	1,19 .....	0,91 .....	27



1165. *Disposition des appareils.* Les appareils dont on se sert pour évaporer des dissolutions dans des vases ouverts, sont disposés d'une manière analogue à ceux qu'on emploie pour la vaporisation. Le foyer est placé à une extrémité de la chaudière et au-dessous, et l'air brûlé circule sous le reste de la chaudière dans des carneaux qui l'obligent à en parcourir toute l'étendue. La quantité de combustible à brûler pour produire dans un temps donné un effet déterminé, doit se calculer en comptant que la vaporisation d'un kilogramme d'eau absorbe des quantités de chaleur correspondantes à celles qui sont indiquées dans le tabl. (1161). Mais ordinairement on emploie des surfaces de chauffe beaucoup plus grandes que pour la vaporisation, attendu que l'on peut refroidir beaucoup plus la fumée; mais il faut alors employer des cheminées d'une plus grande section, afin de vaincre le frottement qui résulte de l'allongement des carneaux. Ordinairement on place à la suite les unes des autres plusieurs chaudières dans lesquelles le liquide prend des températures décroissantes. Ces chaudières sont souvent disposées de manière à amener le liquide d'une chaudière dans celle qui la précède. Cette disposition suppose nécessairement qu'il n'y a aucun inconvénient à produire l'évaporation à des températures plus ou moins élevées. Mais si la limite extrême de température que le liquide doit atteindre était peu élevée, il faudrait nécessairement placer au-dessus du foyer une chaudière d'une grande dimension, dans laquelle un ou plusieurs agitateurs établiraient une parfaite égalité de température, et on parviendrait facilement, en réglant la consommation de combustible dans le foyer, à obtenir dans le liquide la température voulue.

1166. Il n'y a jamais économie de combustible à donner aux chaudières une grande profondeur; car si l'évaporation a lieu à la température de l'ébullition, la quantité de vapeur produite dépend uniquement, pour la même consommation de combustible, de l'étendue de la surface de la chaudière exposée à l'action directe du foyer ou à celle du courant d'air brûlé; et quand l'évaporation a lieu à une température inférieure à celle de l'ébullition, la quantité de vapeur produite dépend de la quantité de chaleur qui pénètre dans la chaudière et de la température de l'évaporation, température qui dépend elle-même de l'étendue de la surface libre du liquide. Ainsi, dans aucun cas, la masse du liquide n'a d'influence.

Dans le dernier cas, une grande profondeur dans les chaudières a l'avantage d'atténuer les différences de température qui proviennent des variations d'intensité du foyer; mais la permanence de température est rarement importante.

1167. Quand l'évaporation a lieu à la température de l'ébullition, l'étendue de la surface libre du liquide n'a, comme nous l'avons dit, aucune influence sur l'évaporation; il se forme autant de vapeur pour la même consommation de combustible quand la chaudière est complètement ouverte, que quand elle est fermée de manière à ne laisser qu'une petite ouverture pour le dégagement de la vapeur. Cependant si le couvercle était fixé sur la chaudière, l'ouverture de dégagement de la vapeur devrait avoir des dimensions suffisantes pour que la pression de la vapeur dépassât peu celle de l'atmosphère. Ainsi, lorsque le contact de l'air est nuisible au liquide soumis à l'évaporation, on peut fermer la chaudière de manière à ne laisser qu'une issue suffisante à la vapeur, afin de s'opposer au renouvellement de l'air.

On pourrait penser cependant que dans les chaudières complètement ouvertes, il doit y avoir une perte de chaleur due au rayonnement de la surface du liquide bouillant; mais cette perte doit être très-faible, car elle est sensiblement compensée par le rayonnement de la vapeur qui se trouve au-dessus de la surface et qui passe immédiatement à l'état vésiculaire. Dans les chaudières fermées il y a, au contraire, une perte de chaleur très-grande par le refroidissement de la partie supérieure de la chaudière; cette perte peut s'estimer à 2 kilogr. de vapeur par mètre carré et par heure; ainsi il sera toujours utile de recouvrir cette partie de la chaudière par des matières peu conductrices.

1168. La forme des chaudières, l'étendue de leur surface, et la nature du métal, dépendent nécessairement de la nature du liquide qui doit être évaporé; ainsi il est impossible de rien dire de général à cet égard. Mais il sera toujours facile, d'après ce qui précède, et en se rappelant les détails que nous avons donnés dans le chapitre consacré à la vaporisation, de calculer dans chaque cas particulier les dimensions des chaudières, et les dispositions les plus avantageuses.

Nous entrerons cependant dans l'examen de quelques appareils et principalement de ceux qui sont le plus fréquemment employés.

1169. Dans les salines on emploie des chaudières de très-grandes di-



mensions qui sont chauffées seulement à la partie inférieure. A Dieuze il y a quatre chaudières rectangulaires et de mêmes dimensions, formées de plaques de fer de 0<sup>m</sup>,004 d'épaisseur, garnies de rebords en dessous, qui sont serrés les uns contre les autres par des pinces à écrous; les joints sont remplis par du ciment de fonte; les plaques ont 0<sup>m</sup>,50 de côté. Ces chaudières ont 25 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur; elles sont élevées de 1<sup>m</sup>,35 et soutenues par des piliers en fonte; la fumée s'étend librement sous les chaudières sans rencontrer aucun obstacle; les chaudières sont recouvertes d'une vaste hotte en planches qui conduit les vapeurs dans une cheminée aussi en planches. La grille a 1<sup>m</sup>,40 de longueur sur 0<sup>m</sup>,80 de largeur; de la porte à la naissance de la grille la distance est de 2<sup>m</sup>,40. Chaque foyer brûle 2500 kilogr. de houille par 48 heures. La cheminée commune à ces quatre chaudières a 18 mètres de hauteur, 1 mètre de côté à la base, et 0<sup>m</sup>,60 au sommet. La température de la fumée, à son entrée dans la cheminée, est de 100°; l'effet utile est de 7<sup>k</sup>50 d'eau évaporée par kilogramme de houille.

Une autre chaudière de 16 mètres de longueur sur 7 de largeur fonctionne de la même manière que les quatre dont nous venons de parler, et donne les mêmes résultats; une autre de 27<sup>m</sup>,5 de longueur sur 7 mèt. de largeur produit un moindre effet utile.

Les résultats qu'on obtient en opérant à la température de l'ébullition ou à une température inférieure sont très-différents. A l'ébullition on emploie 36 à 38 kilogr. de houille pour obtenir 100 kilogr. de sel; à une température inférieure il en faut de 42 à 44. La différence provient de la chaleur absorbée par l'air et du rayonnement de la surface liquide.

La consommation de houille par heure est, d'après ce qui précède, de  $2500 : 48 = 52^k$ . La surface de la grille étant de 1<sup>m</sup>,12, chaque décimètre carré brûle par heure 0<sup>k</sup>,46. La surface de chauffe étant de  $5 \cdot 25 = 125^m$ , chaque mètre carré correspond à 2<sup>k</sup>,4 de houille.

La surface de grille est à peu près deux fois plus grande que celle qu'on emploie ordinairement. L'étendue de la surface de chauffe est à peu près double de celle des chaudières à vapeur. Quant à la section minimum de la cheminée, elle est plus grande que celle qui résulte des formules que nous avons données (406), car en négligeant les résistances qui se produisent dans les carneaux, et qui sont extrêmement faibles, à cause

de la grandeur de la section, 5 mètres sur 1<sup>m</sup>,30, on trouve pour le côté de la cheminée 0<sup>m</sup>,35.

Malgré la grande étendue des chaudières, la température n'est pas très-différente au-dessus du foyer et à l'autre extrémité de la chaudière, car, dans le premier point, quand on ne porte pas le liquide à l'ébullition; elle est de 80°, et de 50 à 60 à l'arrière.

Au premier abord on est étonné du grand effet utile obtenu dans les appareils que nous venons de décrire, car il semble que l'air brûlé doive tendre à gagner la cheminée par le plus court chemin, et par conséquent qu'une grande partie de la surface de chauffe soit perdue; mais il n'en est pas ainsi: le refroidissement de l'air qui se trouve sur les parois latérales et la tendance de l'air chaud à s'élever, obligent ce dernier à s'épanouir au-dessous de la chaudière et à la partie supérieure de l'immense canal qui règne sous la chaudière, et l'air appelé dans la cheminée forme un grand courant qui rase la surface inférieure de ce canal; ce mouvement est encore rendu plus net par la position de l'orifice du canal qui conduit l'air brûlé à la cheminée: cet orifice est de beaucoup au-dessous du fond de la chaudière.

Un fait qui paraît non moins extraordinaire, c'est qu'en établissant au-dessous de la chaudière de nombreux carneaux par des petites murailles qui forçaient l'air brûlé à raser successivement toutes les parties de la chaudière, l'effet utile a été diminué. On ne peut se rendre compte de ce fait qu'en admettant, ce qui est très-probable, que dans un canal étroit les couches refroidies à la partie supérieure, descendent en traversant les couches d'air centrales plus chaudes, et établissent dans tous les points d'une même section une uniformité de température qui abaisse celle des couches qui se trouvent à la partie supérieure, de beaucoup au-dessous de la température qu'elles auraient si les mouvements avaient lieu par une circulation continue, comme cela paraît s'établir au-dessous des grandes chaudières dont nous avons parlé.

1170. Les figures 5, 6, 7 (pl. 48) représentent trois coupes d'une chaudière d'évaporation, destinée à évaporer 150 kilogrammes d'eau par heure; l'air chaud, en sortant du foyer, s'étend sous la chaudière, et revient à la cheminée simultanément des deux côtés en parcourant les faces latérales.

1171. Les figures 1 et 2 (pl. 49) représentent la disposition des chau-



dières ordinairement employées pour la concentration de l'acide sulfurique. La chaudière de plomb repose sur des barres de fer jointives qui reçoivent d'abord l'action de la chaleur; dans cette disposition il y a beaucoup de chicanes qui nuisent singulièrement au tirage. La disposition représentée par les figures 3 et 4 est bien préférable; la température est plus uniforme, et l'effet utile est plus considérable. Dans ces sortes de chaudières, on donne souvent aux grilles de très-grandes surfaces, afin d'avoir des feux languissants qui ne puissent pas brûler ou plutôt fondre les chaudières.

1172. Les figures 5 et 6 représentent une chaudière d'évaporation conique. Cette forme de chaudière est nécessaire dans quelques circonstances; par exemple, quand le liquide, en se concentrant, forme des dépôts. On les recueille dans un vase métallique percé de petits trous et suspendu par une chaîne près du fond de la chaudière. Le mouvement étant beaucoup plus faible dans le vase qu'autour, les dépôts s'y rassemblent. Cette forme de chaudière est employée dans les raffineries de salpêtre.

1173. Si les matières qui se déposent formaient des masses considérables, cette disposition ne suffirait pas, les matières qui se précipiteraient au fond de la chaudière recevant l'action directe du foyer, pourraient la faire brûler. Dans ce cas il serait avantageux d'employer la disposition indiquée dans les figures 7 et 8 (pl. 49). La chaudière a la forme d'une trémie, terminée par une partie rectangulaire. Les parois seules de la trémie sont chauffées, et les matières insolubles se précipitent dans la partie inférieure de la chaudière, d'où elles peuvent être retirées ou par un panier en toile métallique, ayant les dimensions de cette partie de la chaudière, et suspendu à des poulies, ou de toute autre manière. Les flèches indiquent la direction du mouvement de l'air chaud.

1174. Les figures 9, 10 et 11 (pl. 49) représentent une autre disposition de chaudières destinées à évaporer des liquides qui, par les dépôts qu'ils produisent, peuvent faire brûler le fond des chaudières.

La figure 9 est une coupe verticale perpendiculaire à la direction du foyer, faite suivant la ligne CD, fig. 11. La figure 10 est une élévation, et la figure 11 une coupe horizontale suivant AB, fig. 9. Le fond de la chaudière est ondulé, et la partie supérieure seule des ondulations est chauffée; les carnaux sont en partie remplis de briques, afin que leur section n'ait que l'étendue suffisante, et que la fumée s'épanouisse sur toute la

surface de chauffe que renferment les carneaux. Cette chaudière peut vaporiser 150 à 180 kil. d'eau par heure.

1175. Lorsque l'évaporation doit avoir lieu à une température élevée, comme celle des dissolutions de carbonate de soude, on emploie une série de chaudières placées les unes au-dessus des autres (fig. 1 et 2, pl. 50). La première, qui est placée au-dessus du foyer à nu ou sur une voûte en briques, est destinée à produire ou à terminer l'évaporation; les autres à commencer l'évaporation, ou du moins à échauffer le liquide. Chaque chaudière doit alimenter la suivante; et pour cela elle est munie d'un robinet, ou, ce qui vaut mieux, d'un siphon toujours amorcé, qui fonctionne quand on le descend et qui cesse de faire écouler le liquide lorsqu'on le relève. La disposition la plus simple de ces siphons est représentée dans la figure 1; il est évident que le tube *abcde* étant plein de liquide, et les extrémités *a* et *e* étant à la même hauteur, il restera plein; mais si on fait plonger une des branches dans un des vases, la colonne se trouvant raccourcie, le liquide s'écoulera par l'autre branche.

1176. Les figures 3, 4, 5 et 6 (pl. 50) représentent une chaudière d'évaporation construite par Lemare, et sur laquelle ont été faites les expériences rapportées (229). Cette chaudière est formée de trois enveloppes concentriques; c'est entre la seconde et la dernière que se trouvent les carneaux. Dans les expériences faites sur cette chaudière, on a brûlé à peu près 20 kilogr. de houille à l'heure, et on a obtenu plus de 9 kilogr. de vapeur par kilogramme de houille. La surface de chauffe correspond à peu près à 3 kilogr. de houille à l'heure; la fumée était à peu près à 200°. La tôle de ces chaudières avait 4<sup>mm</sup>,5 d'épaisseur.

Ces chaudières seraient très-convenables pour évaporer des dissolutions qui produisent des dépôts très-volumineux; mais elles coûteraient trop d'établissement, à cause des trois enveloppes. On arriverait certainement aux mêmes résultats au moyen de la disposition beaucoup plus simple représentée dans les figures 7, 8 et 9, et mieux en employant la disposition des figures 10 et 11, dans laquelle la chaudière est environnée d'une maçonnerie assez épaisse pour éviter la perte de chaleur due au rayonnement de la chaudière et au contact de l'air.

1177. Dans ce qui précède nous avons principalement considéré l'évaporation sous le rapport de l'économie du combustible; mais il est des circonstances dans lesquelles le temps est un élément beaucoup plus im-



portant, et où il est avantageux de sacrifier du combustible pour accélérer l'évaporation. Telle est, par exemple, la concentration des sirops, parce que le sucre est d'autant plus altéré qu'il reste plus longtemps soumis à l'action de la chaleur.

1178. *Chaudières à bascule.* Les appareils qu'on a employés longtemps pour la concentration des sirops, consistaient uniquement dans des chaudières, peu profondes, dans lesquelles on plaçait le sirop, et que l'on chauffait directement par un foyer très-actif, dont la fumée ne circulait pas autour de la chaudière : cette disposition, très-vicieuse sous le rapport de l'économie du combustible, l'était encore davantage par l'altération que le sirop éprouvait souvent ; car l'évaporation étant très-rapide, si le vase restait sur le feu après que le sirop avait atteint le degré convenable de concentration, ce dernier s'altérait, et l'on obtenait moins de sucre blanc et plus de mélasse.

On a complètement évité cet inconvénient, au moyen des chaudières à bascule, que l'on peut soulever et vider à l'instant précis où la concentration est arrivée à son terme. Cet appareil est composé (fig. 12 et 13, p. 50) d'une chaudière plate A, garnie d'un large goulot un peu relevé, qui déborde le fourneau, et au-dessous duquel se trouve un grand vase de cuivre C nommé rafraîchissoir, où le sirop cuit est recueilli et commence à grener ; au-dessus de la chaudière se trouve un réservoir D renfermant du sirop destiné à alimenter la chaudière de cuite ; une chaîne E, fixée à la chaudière et qui passe sur deux poulies fixes, permet de faire basculer la chaudière, et de la vider dans le rafraîchissoir ; le réservoir alimentaire est terminé par un tuyau fermé en dedans par une soupape *m* que l'on peut ouvrir de même au moyen d'une chaîne. La grille du foyer a une très-grande surface relativement au fond de la chaudière, et la fumée se dégage par des orifices nombreux *o, o, o....* placés latéralement, et qui débouchent dans un carneau circulaire G qui communique avec deux cheminées. Lorsque le sirop est arrivé au point convenable, un ouvrier fait basculer la chaudière au moyen de la chaîne E, la chaudière se vide très-promptement dans le rafraîchissoir, et pendant tout le temps de cette opération elle est soustraite à l'action du foyer. Aussitôt que le sirop cuit est écoulé, on ouvre la soupape du réservoir, et la chaudière remise en place se trouve presque aussitôt remplie. Dans ce mode d'opération, on peut mettre à la fois

peu de sirop dans les chaudières, et multiplier les cuites, ce qui est très-avantageux; car le contact prolongé de la chaleur et de l'air nuit beaucoup à la qualité du sirop. On conçoit facilement, qu'en multipliant les cuites, leur durée diminue, et par conséquent, que chaque portion de sirop reste moins longtemps en contact avec la chaleur et avec l'air.

Mais ce mode d'opération exige une dépense énorme de combustible, car le foyer a une très-grande étendue, et l'air chaud arrive dans la cheminée à une température extrêmement élevée. On emploie maintenant de préférence les différents appareils à vapeur dont nous parlerons plus tard, qui sont plus avantageux que les chaudières à bascule, sous le rapport de la conservation du sucre, et qui utilisent beaucoup mieux le combustible.

1179. *Appareils destinés à évacuer les vapeurs.* Dans les usines où l'évaporation se fait sur de grandes dimensions, l'énorme quantité de vapeur d'eau qui se répand dans les ateliers, et qui s'y condense en partie, est souvent très-incommode, et en saturant l'air empêche l'évaporation à une température inférieure à celle de l'ébullition. On a imaginé, pour s'en débarrasser, une disposition très-simple, représentée par la figure 14 (pl. 50) : la chaudière est recouverte du dôme MN ordinairement en planches, ouvert en avant et terminé à l'extrémité de la chaudière par un tuyau vertical qui pénètre dans la cheminée à une certaine hauteur; le courant d'air que détermine au-dessus des chaudières la force ascensionnelle de la fumée entraîne les vapeurs, qui, par conséquent, ne peuvent pas se répandre dans l'atelier. Quelquefois on se borne à entourer la chaudière d'une espèce de hotte analogue à celle des foyers de cuisine, ouverte par les trois côtés, et communiquant de même avec la cheminée. Mais cette disposition est moins bonne que la précédente, parce qu'il y a trop d'air appelé, et qu'une partie des vapeurs peut encore se répandre dans l'atelier.

1180. Connaissant la quantité de combustible qui doit être brûlée dans une heure, ainsi que la température du liquide, on pourra déterminer avec une approximation suffisante, la section que doit avoir la cheminée, pour suffire au tirage du foyer et à l'évacuation du mélange d'air et de vapeurs. Pour cela on commencera par déterminer la température du mélange des gaz dans la cheminée; on considérera ensuite la section de la cheminée comme composée de deux parties correspon-



dantes aux deux appels, et on déterminera chacune d'elles séparément par les méthodes connues.

Supposons que la consommation de combustible soit de 40 kilogr. de houille par heure, que la température du liquide soit de  $40^{\circ}$ , et que l'air brûlé soit abandonné à  $200^{\circ}$ . Le poids d'air brûlé qui pénétrera par seconde dans la cheminée sera  $18 \times 40 \times 1^{\text{k}},3 : 3600 = 0^{\text{k}},26$ . La quantité de houille brûlée par seconde étant de  $40 : 3600 = 0^{\text{k}},011$ , et son effet utile (428) étant de 0,83, la quantité de vapeur produite par seconde sera (1161) de  $7500 \times 0,011 \times 0,83 : 1063 = 0^{\text{k}},064$ , et le poids d'air qui entraînera la vapeur sera (1164) de  $0,064 \times 22,82 = 1^{\text{k}},45$ . Alors la température moyenne du mélange sera sensiblement  $(0,26 \times 200 + 1,45 \times 40) : (0,26 + 1,45) = 64^{\circ}$ . En supposant que la cheminée commune ait 20 mètres de hauteur, et que la température extérieure soit  $14^{\circ}$ , on aura  $0^{\text{m}},12$  pour la section de la cheminée nécessaire au tirage du foyer (406). En faisant  $R = 0$  dans l'équation (1) (403), on trouve que la section de la cheminée, suffisante pour l'écoulement de l'air saturé de vapeur, est de  $0^{\text{m}},26$ ; ainsi la section totale sera de  $0^{\text{m}},38$ , et par conséquent le côté de la cheminée supposée carrée, sera de  $0^{\text{m}},61$ .

1181. Il serait convenable de donner à la cheminée une plus grande section, parce que l'air appelé peut ne pas être complètement saturé; mais alors il faudrait garnir d'un registre les orifices par lesquels l'air brûlé et le mélange d'air et de vapeur débouchent dans la cheminée, afin de pouvoir régler à la fois et la consommation de combustible et la température du liquide.

1182. On pourrait aussi faire évacuer l'air brûlé par une cheminée en fonte placée au centre de la cheminée d'appel; mais pour que l'air environnant fût facilement échauffé par l'air brûlé, il faudrait garnir le tuyau de nombreux appendices horizontaux destinés à porter la chaleur de l'air brûlé dans un grand nombre de points de la veine d'air appelé.

1183. Enfin, on pourrait se borner à faire évacuer l'air mêlé de vapeur par une cheminée spéciale d'une grande section; le tirage pourrait être suffisant, si le mélange ne se refroidissait pas assez dans la cheminée pour condenser une partie des vapeurs; mais s'il n'en était pas ainsi, les vapeurs condensées, suspendues dans l'air, pourraient donner au mélange, malgré son élévation de température, une densité plus grande que celle de l'air environnant.

1184. Il est évident que si l'évaporation avait lieu à la température de l'ébullition, la chaudière étant fermée, un simple tuyau communiquant avec la chaudière et s'ouvrant à l'extérieur, quelle que fût d'ailleurs sa direction, suffirait à l'évacuation des vapeurs.

1185. On pourrait aussi produire un courant d'air d'une autre manière sans nuire au tirage du foyer. Ce procédé consiste à alimenter le foyer par l'air qui s'est chargé de vapeur d'eau en passant sur la chaudière (fig. 15, pl. 50). La chaudière est garnie d'un couvercle un peu élevé AB, ouvert en C, par lequel l'air extérieur s'introduit sur le liquide; l'air descend ensuite par le canal DE, pénètre dans le cendrier F, et passe de là dans le foyer, sous la chaudière et dans la cheminée. Cette disposition a le grand inconvénient de faire traverser le foyer par un volume d'air beaucoup plus considérable que celui qui est nécessaire pour la combustion; en effet, nous avons vu (257) que pour brûler 1 kilogr. de houille il faut au plus 18 mètres cubes d'air froid; or, en admettant que chaque kilogr. de houille évapore 6 kilogr. d'eau, et que l'évaporation ait lieu à 50°, comme à cette température il faut 11<sup>m</sup>,72 (1164) d'air à 0° pour enlever la vapeur de 1 kilogr. d'eau, l'air appelé dans le foyer réduit à 0° serait de  $6 \times 11,72 = 70^{\text{m}},32$ . L'air en excès serait encore beaucoup plus grand si l'évaporation avait lieu à une plus basse température. Il est facile de voir, d'après le tableau (1164), qu'il faudrait que l'évaporation eût lieu entre 70° et 80° pour que le volume d'air suffisant pour l'évaporation ne dépassât pas celui qui est nécessaire à la combustion. Dans tous les cas, la grande quantité de vapeurs que renfermerait l'air serait une circonstance très-défavorable, et qui occasionnerait une grande perte d'effet utile.

1186. On pourrait encore employer un procédé différent qu'il est utile d'examiner, c'est celui qui consiste à faire passer sur le liquide dont on a augmenté la surface autant que possible, l'air qui a servi à la combustion; cet appareil est représenté figure 16 (pl. 50). A est le foyer, B le canal qui conduit l'air chaud sous la chaudière, B' deux canaux qui le ramènent en avant, C le prolongement du même canal qui passe au-dessus du liquide, D la cheminée.

Cet appareil n'a qu'un seul des inconvénients de celui que nous avons examiné précédemment, c'est d'exiger une quantité d'air plus grande que celle qui est nécessaire pour la combustion, du moins quand l'éva-



poration a lieu à une température inférieure à  $70^{\circ}$ ; cet inconvénient serait assez faible, parce que la chaleur serait employée d'une manière plus utile que dans les évaporations ordinaires, attendu que l'air chaud, en arrivant dans la cheminée, aurait une température seulement égale à celle du liquide. Mais cet appareil ne pourrait être employé que dans des circonstances extrêmement limitées, car la fumée renfermant toujours des matières combustibles plus ou moins décomposées, et du charbon très-divisé, il faudrait que le liquide à évaporer fût de nature à ne pas être altéré par ces substances, ou que l'on employât comme combustible du coke ou du charbon de bois; et, dans ce cas, il faudrait encore que le liquide n'éprouvât aucune action de la part de l'acide carbonique.

Au premier abord ce procédé de vaporisation semblerait avantageux pour évaporer à une température inférieure à celle de l'ébullition les dissolutions de substances qui sont facilement altérées par l'oxygène de l'air, parce que l'on pourrait s'arranger de manière qu'il ne s'échappât du foyer que peu d'oxygène. Mais alors la quantité d'air qui arriverait sur le liquide ne serait pas suffisante pour dissoudre toutes les vapeurs qui pourraient se former, et la température du liquide augmenterait.

§ 4. — ÉVAPORATION D'UN LIQUIDE CHAUD PAR UN COURANT D'AIR FORCÉ FROID OU CHAUD.

1187. Dans les appareils que nous venons d'examiner, on peut considérer l'évaporation comme produite par des courants d'air forcés, froids dans les deux premiers, chauds dans le dernier; mais comme, dans ces dispositions, les courants ont une grande épaisseur, on ne doit les regarder, ainsi que nous l'avons fait, que comme des dispositions propres à évacuer les vapeurs. Pour que les courants d'air satisfassent à la condition de produire réellement l'évaporation, il faut qu'ils soient en lames assez minces, pour qu'on puisse admettre qu'ils soient saturés après leur contact avec les liquides.

1188. Dans le mode d'évaporation dont il est question, on peut employer deux méthodes différentes; on peut faire passer l'air en lames

minces sur le liquide, ou faire passer l'air en très-petites bulles à travers le liquide, et dans l'un et l'autre cas on peut chauffer le liquide ou l'air, ou tous les deux.

1189. La disposition la plus simple pour évaporer un liquide chaud par un courant d'air forcé froid, est représentée dans les figures 17 et 18 (pl. 50). A est une chaudière rectangulaire fermée à la partie supérieure et latéralement par des planches ou des plaques métalliques; l'espace compris entre le niveau du liquide et la plaque supérieure est ouvert en avant et communique par l'extrémité opposée avec une large cheminée; le foyer chauffe directement la partie inférieure de la chaudière par rayonnement, et les parois latérales par le courant de fumée qui se rend ensuite par un tuyau de tôle dans la cheminée d'appel. Entre le niveau du liquide et la paroi supérieure de l'encaissement, se trouvent deux systèmes de toiles parallèles, métalliques ou de chanvre, tendues, et très-voisines les unes des autres; ces deux systèmes de toiles sont fixés aux deux extrémités d'un balancier extérieur, de manière que, quand un des systèmes est au-dessus du niveau, l'autre plonge dans le liquide. Par cette disposition, l'air est obligé de passer entre des lames mouillées très-rapprochées, et dont on renouvelle le liquide aussi souvent que cela est nécessaire.

1190. Les figures 1, 2 et 3 (pl. 51), représentent une disposition analogue. La figure 1 est une coupe verticale de l'appareil dans le sens de la longueur, et les figures 2 et 3 sont des coupes suivant les plans XY et ZT. Mais les nappes mouillées sont placées autour d'un axe qui est animé d'un mouvement de rotation continu; le mouvement de l'air est produit par un ventilateur, et la chaleur de la fumée, en sortant du foyer, est employée à chauffer l'air poussé par le ventilateur. A est le foyer; B, un carneau à l'extrémité duquel la fumée se divise pour chauffer simultanément les deux faces de la chaudière; C, le carneau où se rendent les deux courants de fumée; D, caisse renfermant un grand nombre de tubes horizontaux, à travers lesquels s'échappe l'air lancé par le ventilateur E; la fumée circule autour des tuyaux pour se rendre dans la cheminée F; G, chaudière dans laquelle plongent des toiles fixées autour de l'axe métallique H, de manière à former plusieurs surfaces prismatiques concentriques; I, cheminée d'écoulement de l'air chargé de vapeurs. Le ventilateur et la poulie K sont mis en mouvement par un moteur quelconque.



On pourrait aussi placer sur l'axe de rotation, et perpendiculairement à sa direction, des toiles métalliques circulaires à mailles très-larges, que le mouvement imprégnerait sans cesse de nouveau liquide, et que le courant d'air serait obligé de traverser.

1191. Au moyen de ces appareils, on peut évaporer rapidement un liquide par un courant d'air à une température donnée, en chauffant seulement le liquide ou l'air, ou tous les deux. Ces dispositions seraient bien préférables à celle dont nous avons parlé (1152). Elles seraient surtout applicables à la concentration des sucs qui ne peuvent pas, sans altération, ou au moins sans perdre de leur arôme, supporter une température élevée.

1192. La figure 4 (pl. 51) représente une autre disposition d'un appareil d'évaporation à courant d'air forcé. A est un vase cylindrique vertical fermé par les deux bouts, dans lequel on peut introduire de la vapeur par le tuyau *a*; *b* est un tube pour l'évacuation de l'air, et *c* le tuyau de retour d'eau; le vase est recouvert extérieurement de toiles métalliques. Le liquide à évaporer est amené d'une manière continue par le tube *d*; il tombe dans un vase *e* percé de très-petits trous, dans lequel restent les matières que le liquide pouvait tenir en suspension; de là il tombe dans le vase *f* percé de trous à sa circonférence, qui le distribue uniformément sur la toile métallique; le liquide concentré se réunit dans la rigole annulaire *g*, d'où il s'écoule par le tube *h*. Le cylindre A est environné du cylindre B d'un plus grand diamètre et beaucoup plus haut, qui reçoit par le bas un courant d'air forcé. La gouttière annulaire K reçoit l'eau qui se condense contre la surface intérieure du cylindre enveloppant. Cette disposition, qui avait été imaginée pour la concentration des sirops, n'a point été employée; elle a plusieurs graves inconvénients, et notamment celui de ne pas permettre de nettoyer facilement la toile métallique; elle est bien inférieure sous tous les rapports aux deux appareils dont nous venons de parler.

Si le liquide n'était pas de nature à être altéré par les produits de la combustion, on pourrait employer la fumée pour produire l'évaporation après l'avoir mêlée avec une quantité d'air froid suffisante pour abaisser sa température au point convenable.

1193. Quand le courant d'air est froid, ce mode d'évaporation produit le même effet utile qu'une évaporation lente à la même température. Mais

quand il est chaud il n'en est plus ainsi, parce que la chaleur qu'il conserve ne provient pas de la condensation partielle des vapeurs, celle qu'il entraîne étant complètement en dissolution. Dans les deux cas il y a cependant peu de différence entre l'effet utile du combustible, et d'autant moins que l'évaporation a lieu à une température plus élevée. Dans le chapitre suivant, la question de l'effet produit sera examinée avec tous les détails nécessaires.

1194. *Appareils de concentration par l'air chaud introduit dans le liquide.* Ce mode d'évaporation a été imaginé, en 1812, par Parmentier, et se trouve décrit dans un ouvrage intitulé : *Nouvel aperçu des résultats obtenus de la fabrication des sirops et conserves de raisins dans le cours de l'année 1812.* Cet appareil consistait en un soufflet de forge, dont la tuyère communiquait avec un vase lenticulaire percé d'un grand nombre de petits trous et plongé dans le liquide à évaporer. Depuis, plusieurs personnes ont pris des brevets d'invention pour le même objet; le brevet le plus récent et qui est déchu, a été pris par M. Brame-Chevalier. L'appareil est représenté fig. 5 (pl. 51). A est un générateur à vapeur renfermant un serpentín B communiquant par une extrémité avec un soufflet C, et de l'autre avec l'espace qui se trouve au-dessous d'un plateau horizontal percé d'un grand nombre de petits trous et placé dans la chaudière de concentration D, à une petite distance de son fond. Le générateur fournit de la vapeur à une grille E plongée dans le sirop, et qui est destinée à en élever la température. Voici le résultat d'une expérience rapportée par M. Brame-Chevalier. La chaudière de cuite ayant été chargée de 50 kilog. de sirop clarifié à 36° du pèse-sirop, la pression de la vapeur étant de 1 atm.  $\frac{1}{2}$ , l'opération, par l'action seule de la vapeur, a été terminée en 56'; la température du sirop était de 85° au commencement, et de 93° à la fin. Dans une autre expérience, dans laquelle on a fait passer de l'air à travers le sirop, l'opération a été terminée en 28', et la température du sirop a varié de 70° à 72°.

1195. Depuis, M. Brame-Chevalier a monté sur une grande échelle des appareils destinés aux raffineries de sucre et aux fabriques de sucre de betterave. Ces appareils se composent d'une machine soufflante destinée à comprimer l'air, d'un appareil pour le chauffer, et des chaudières de cuite, dont le sirop est chauffé à la vapeur, et à travers lequel l'air chaud est injecté.



La machine soufflante est à cylindre; elle est mise en mouvement par une machine à vapeur. L'appareil destiné à chauffer l'air se compose, fig. 6 (pl. 51), d'un faisceau de tubes *e* ouverts par les deux bouts; très-près de leurs extrémités, ces tubes traversent des plaques E dans lesquelles ils sont soudés; à la partie supérieure du faisceau, un peu au-dessous de la plaque supérieure dont nous venons de parler, se trouve un diaphragme *é* percé d'un grand nombre de petits trous et destiné seulement à gêner le mouvement de l'air pour le forcer à se mettre mieux en contact avec les tubes du faisceau qu'il environne de toutes parts; une enveloppe cylindrique F, exactement fixée sur le contour des deux plaques E, vient clore hermétiquement l'espace qui reste libre entre les tubes à vapeur *e*; c'est dans cet espace que les deux grands tubes à air D jettent l'air lancé par la machine soufflante. Le reste de l'appareil consiste en une calotte F' et un double fond inférieur F'' fixés en même temps aux extrémités du cylindre F et aux plaques E. Les espaces réservés aux deux extrémités des tubes sont destinés, l'un à fournir de la vapeur aux tubes, l'autre à recevoir l'eau de condensation. L'air, convenablement échauffé, sort par deux tubes G qui se réunissent en un seul G' (fig. 8), et ensuite par le tube G'' qui est aussi horizontal, mais perpendiculaire à G'; à chacune de ses extrémités, le tube G'' se courbe de haut en bas (fig. 7), et se termine par une boîte *g''* destinée à recevoir les deux tubes coudés H qui doivent être mobiles dans cette boîte, de manière à y prendre au besoin un mouvement de rotation autour du boulon *gg*, qui les tient serrés pour qu'il n'y ait pas de fuites d'air; les tubes H sont pareillement coudés à leur partie inférieure pour s'adapter dans une seconde boîte *h*, semblable à la première, dans laquelle ils peuvent aussi tourner; ici l'écartement des tubes H est empêché par la pince *h'h'*; la boîte *h* porte un robinet H' (fig. 6) qui arrête l'air quand il est fermé, et qui lui permet de passer dans le grand tube H'' quand il est ouvert; une fois arrivé dans le tube H'', l'air descend par les trois colonnes I pour se répandre dans l'espace compris entre les deux fonds L et L', d'où il ne peut plus s'échapper que par la multitude de petits trous dont le fond supérieur est percé.

1196. Toutes les chaudières de cuite sont disposées de la même manière. La figure 6 en présente une coupe verticale, et la figure 8 la projection horizontale. Une chaudière se compose du fond inférieur

L', du fond supérieur L percé d'un grand nombre de petits trous, et du robinet de vidange J qui se manœuvre au moyen de la clef *j*.

Les chaudières sont disposées de manière à pouvoir être inclinées du côté du tube de vidange (fig. 6), quand la cuite est terminée. Pour cela, chaque chaudière est supportée par un bâtis à 4 pieds M, liés entre eux par des traverses diagonales dans le sens de la longueur de la chaudière, et par des traverses horizontales dans le sens de sa largeur; les deux pieds qui sont opposés au robinet de vidange se bifurquent vers le haut et donnent naissance à des appendices M', sur lesquels reposent les deux extrémités arrondies d'un axe *m'* solidement boulonné sur le bord correspondant de la chaudière; cet axe porte seul le bout dont il s'agit; l'autre bout, celui du robinet de vidange, est supporté par une traverse semblable *n'*, par deux tiges N' et par le levier N, mobile autour de l'axe *n*; chacune des tiges N' est articulée à l'une des extrémités de la traverse *n'* et à l'extrémité du levier N; l'axe *n* de rotation du levier N est fixé sur les pieds correspondants du bâtis; le poids de la chaudière et du sirop tend à faire descendre le petit bras du levier N et à relever le grand bras du même levier; mais une traverse qui s'ajuste dans la rainure *m* des pieds du bâtis, arrête le mouvement et permet, par la même raison, de niveler exactement le fond L de la chaudière. Quand la cuite est terminée, on soulève cette traverse; le levier N la suit, et la chaudière s'incline du côté du robinet de vidange, que l'on ouvre en même temps pour donner issue au liquide. Ce mouvement fait comprendre les motifs de l'ajustement des tuyaux H dans les boîtes *g''* et *h*, car il est évident que les colonnes I, boulonnées sur le fond L, se déplacent avec lui et entraînent par conséquent le tube H'', qui ne peut suivre ce mouvement qu'en déplaçant les tuyaux H et en les faisant tourner à la fois dans la boîte *h*, et dans la boîte *g''*; on voit aussi que le centre de rotation étant en *m'*, il importe que les verticales des tuyaux H ne tombent pas à une grande distance de la ligne *m'*, car alors l'extrémité du tuyau H'' s'abaisserait sensiblement, et il faudrait que les tuyaux H pussent non-seulement tourner, mais s'allonger.

La vapeur arrive dans l'appareil destiné à chauffer l'air par le tube *p* garni du robinet P. *p'* est le tuyau d'écoulement de l'eau de condensation. La vapeur non condensée se dégage par *p''*.

La vapeur destinée au chauffage du sirop arrive de la chaudière par



le tuyau Q (fig. 6); ce tube se recourbe en Q' et communique avec un long tuyau horizontal Q'' (fig. 6 et 8) qui lui est perpendiculaire et qui s'étend à droite et à gauche jusque vers le milieu de chaque chaudière, où il se recourbe de haut en bas. A chacune des extrémités du tube Q'' naissent deux embranchements R, s'étendant d'abord horizontalement, puis descendant verticalement; ils se recourbent en R', où se trouve un robinet, et viennent enfin dans la direction R'' pour s'ouvrir dans les boîtes S qui se trouvent sur chacun des côtés des chaudières; des boîtes S, la vapeur passe dans les tubes *t* de la grille, arrive aux boîtes S', d'où elle gagne les tubes *r''*, *r'* et *r*, pour s'échapper avec l'eau condensée.

Comme les grilles à vapeur ne pourraient participer au mouvement de bascule de la chaudière sans une assez grande complication d'ajustements, on a préféré les laisser complètement fixes et immobiles: elles sont soutenues à 6 ou 8 centimètres du fond L par des tiges *t'* (fig. 6), qui sont elles-mêmes attachées aux deux traverses TT; les extrémités de ces traverses reposent sur les sommets des pieds M du bâtis. On peut donc, sans faire éprouver à la grille le moindre dérangement, manœuvrer la chaudière au moyen du levier N, et la faire tourner autour de son axe *m'* jusqu'à ce que le fond L vienne rencontrer le fond des boîtes S.

Les tuyaux à vapeur sont courbes, afin que l'inégale dilatation qu'ils peuvent éprouver, en se portant sur leur courbure, n'altère pas la solidité des joints avec les boîtes S et S'. Dans la disposition de l'appareil, on s'est réservé la possibilité de faire passer au besoin un jet de vapeur entre les deux fonds L et L' de la chaudière, soit pour nettoyer les trous du fond L, soit pour enlever les portions de sirop qui peuvent couler entre les fonds; c'est dans ce double but qu'on a ménagé un petit conduit *u* (fig. 6) contre l'un des bords de la chaudière: ce conduit communique avec un tube par lequel on donne la vapeur quand cela est nécessaire, ce qui arrive ordinairement après quatre ou cinq cuites. La vapeur non condensée et l'eau de condensation s'échappent par un tuyau *l'* ouvert dans le fond L, et terminé par un robinet.

La machine soufflante donne environ 10 mètres cubes d'air par minute; l'air entre dans le sirop à 135° et en sort à 95°; le sirop est maintenu par la vapeur à une température comprise entre 75 et 80°.

1197. Les appareils de M. Brame-Chevalier ont complètement disparu

de l'industrie, parce qu'ils sont très-complicés, d'un prix très-élevé, qu'ils consomment plus de combustible que les appareils qui évaporent dans le vide, et enfin parce que le sirop, à cause de sa viscosité, retient une grande quantité d'air qui nuit à la cristallisation.

La disposition représentée par les figures 1, 2 et 3 (pl. 51), serait bien préférable sous tous les rapports. En chauffant le sirop à la vapeur, on pourrait évaporer aussi rapidement qu'on le désirerait, à une température déterminée, avec une faible dépense de travail pour lancer l'air, et une faible dépense de chaleur pour le chauffer; car l'air serait principalement chauffé par la condensation de la vapeur qui serait entraînée mécaniquement à l'état vésiculaire. Mais, comme nous le verrons, les appareils à cuire dans le vide présentent encore plus d'avantages.

#### § 5. — ÉVAPORATION PAR LA VAPEUR.

1198. Dans tous les modes d'évaporation produite par la chaleur, on peut se servir de la vapeur d'eau ou de celle de tout autre liquide pour chauffer les matières qui doivent être évaporées. Mais jusqu'ici on n'a employé que la vapeur d'eau.

Ce mode de chauffage ne présente point, en général, d'économie de combustible sur le chauffage direct, puisque, dans la formation de la vapeur, il y a autant de perte de chaleur que dans le chauffage direct du liquide à évaporer, et même cette perte est un peu plus considérable.

1199. Cependant il est des circonstances dans lesquelles il y a réellement économie; c'est ce qui arrive quand les appareils évaporatoires exigent plusieurs fourneaux alimentés chacun par un foyer, parce que la vapeur pouvant être fournie par un seul, la perte de chaleur par les parois d'un seul fourneau est plus petite que celle qui a lieu par plusieurs produisant ensemble le même effet. Mais l'emploi de la vapeur est principalement avantageux pour évaporer les dissolutions de certaines substances végétales qui, à cause de leur viscosité ou des dépôts qui se forment pendant l'évaporation, peuvent facilement être altérées lorsque les chaudières sont exposées directement au feu; cet inconvénient ne peut pas exister par le chauffage à la vapeur, parce que les surfaces mé-



talliques qui transmettent la chaleur ne peuvent jamais s'échauffer au delà de la température de la vapeur.

1200. Tous les appareils destinés à évaporer des liquides par le chauffage à la vapeur d'eau, sont essentiellement composés : 1° d'une chaudière à vapeur, dans laquelle la vapeur est formée sous une pression suffisante pour que sa température dépasse au moins de 15 à 20 degrés celle à laquelle l'évaporation doit avoir lieu ; 2° d'une ou plusieurs chaudières évaporatoires que la vapeur chauffe, ou extérieurement en se condensant dans une double enveloppe, ou intérieurement en passant dans un appareil analogue aux serpentins des appareils distillatoires.

1201. Les chaudières à vapeur doivent être construites, ainsi que tous les appareils qui en dépendent, d'après les procédés que nous avons développés dans le 1<sup>er</sup> volume de cet ouvrage.

1202. Les chaudières évaporatoires sont de formes très-variées ; les seules conditions auxquelles elles soient assujetties sont : 1° de ne point être altérées par le liquide à évaporer ; 2° quand elles sont chauffées extérieurement, d'avoir une forme et une épaisseur qui leur permette de résister à la pression de la vapeur qui tend à les déformer et à les déchirer.

1203. Les surfaces de condensation de la vapeur, comme nous l'avons dit, peuvent être en dehors ou en dedans des chaudières ; dans le premier cas, la surface de la chaudière forme une des parois du canal, la seule qui communique la chaleur au liquide ; dans le second, toute la surface du canal parcouru par la vapeur échauffe le liquide.

1204. De quelque manière que soient disposés les canaux dans lesquels circule la vapeur, qu'ils soient extérieurs aux chaudières, ou composés de tuyaux de différentes formes, diversement contournés et placés dans les chaudières, ils doivent toujours satisfaire à plusieurs conditions : 1° ils doivent avoir une épaisseur suffisante pour n'être ni déformés ni déchirés par la tension de la vapeur ; 2° ils doivent être disposés de manière que l'air puisse facilement en être expulsé au commencement de la chauffe et à faciliter l'écoulement de l'eau de condensation dans un réservoir extérieur, ou dans la chaudière à vapeur ; 3° enfin ils doivent avoir une surface suffisante pour condenser, dans un temps donné, une quantité de vapeur égale à celle que doit émettre le liquide soumis à l'évaporation. Il est d'ailleurs parfaitement indifférent

que l'espace dans lequel circule la vapeur soit ou ne soit pas interrompu par des diaphragmes, seulement il peut arriver, dans certaines circonstances, que la présence des diaphragmes facilite au commencement de l'opération l'expulsion totale de l'air.

1205. L'évacuation de l'air des canaux dans lesquels circule la vapeur est une condition d'une importance extrême, car la présence de l'air, même en petite quantité, diminue beaucoup la transmission de la chaleur à travers les parois de l'enveloppe de la vapeur.

1206. Il est également important de faire évacuer l'eau de condensation à mesure qu'elle se forme, car cette eau, séjournant dans les canaux, diminuerait nécessairement l'étendue de la surface de chauffe. Dans quelques circonstances, on peut la faire retourner directement à la chaudière; mais le plus souvent on la recueille dans une bêche, d'où elle est ensuite introduite dans la chaudière par les différents moyens que nous avons décrits dans le premier volume de cet ouvrage.

1207. Quant à l'étendue de la surface de condensation de la vapeur; nous avons vu (705) que la quantité de chaleur qui se transmet à travers une plaque de cuivre de 0<sup>m</sup>,001 d'épaisseur, dont les deux surfaces sont maintenues à des températures constantes, est égale à 19,11 unités par mètre carré et par seconde, pour une différence de température de 1°, ce qui correspond environ à la condensation de 125 kilog. de vapeur par heure. Mais comme, dans le cas dont il s'agit, les couches liquides qui mouillent les surfaces métalliques se renouvellent difficilement, la transmission est beaucoup plus petite; elle est d'ailleurs encore beaucoup diminuée par l'air qui reste dans les appareils ou qui est amené par la vapeur.

1208. D'après Clément, un mètre carré de cuivre mince exposé d'un côté à la vapeur à 100°, et en contact par l'autre face avec de l'eau à une température moyenne de 28°, condense par heure 100 kilogr. de vapeur; ce qui revient à une condensation de  $100 : 72 = 1^k,4$  par mètre carré par heure, et pour une différence de température de 1°. Clément n'a pas décrit l'appareil qu'il a employé; mais tout fait présumer qu'il ne l'avait pas disposé de manière à faciliter l'expulsion de l'air. Des expériences plus récentes donnent des résultats beaucoup plus considérables.

1209. Dans un appareil de la forme indiquée par la figure 7 (pl. 52), qui renfermait 900 kilog. de jus de betterave à la température de 4° et



chauffé par la vapeur à la température moyenne de  $135^{\circ}$ , le liquide a été porté à l'ébullition en 16', ce qui correspond à 324000 unités de chaleur par heure pour une différence moyenne de température de  $83^{\circ}$ ; et comme la surface du double fond était de  $2^{\text{m}},40$ , cette quantité de chaleur correspond à la condensation de 245 kilogr. de vapeur par mètre carré et par heure, pour une différence de température de  $83^{\circ}$  ou à  $2^{\text{k}},97$  pour une différence de température de  $1^{\circ}$ , nombre beaucoup plus grand que celui qui a été donné par Clément. Dans cet appareil, le tuyau à vapeur avait 4 centimètres de diamètre intérieur, et le tube à air était seulement à  $0^{\text{m}},12$  au-dessus du double fond et du côté du tuyau à vapeur, circonstances très-défavorables pour le dégagement de l'air.

Dans les appareils formés d'un seul tuyau d'un très-petit diamètre, dans lesquels l'air peut être complètement expulsé, la condensation est beaucoup plus considérable. Nous rapporterons à cette occasion les résultats d'une expérience faite par MM. Thomas et Laurens, sur une bassine évaporatoire chauffée par la vapeur qui circulait dans un serpentin d'un petit diamètre.

Le tuyau avait 42 mètres de longueur,  $0,034$  de diamètre extérieur, et  $4^{\text{m}},48$  de surface. On introduisit 400 kilog. d'eau à  $8^{\circ}$  dans la chaudière, et l'on fit circuler dans le serpentin de la vapeur d'eau à une tension moyenne de trois atmosphères, et par conséquent à  $135^{\circ}$ . En 4 minutes, l'eau fut amenée à l'ébullition, et après 15 minutes, 250 kilog. d'eau avaient été vaporisés. Ainsi en 11 minutes, pour une différence de température de  $35^{\circ}$ , une surface de  $4^{\text{m}},48$  avait vaporisé 250 kilog. d'eau, ce qui fait  $8^{\text{k}},70$  de vapeur condensée par mètre carré, par heure, et pour une différence de température de  $1^{\circ}$ . Dans une autre expérience, il y avait deux serpentins, chacun avait 15 mètres de développement et 34 millimètres de diamètre intérieur, et ils présentaient ensemble une surface extérieure de  $3^{\text{m}},67$ . La vapeur circulant dans les serpentins à une température moyenne de 2 atmosphères, on a évaporé 60 kilog. d'eau en 5 minutes, ce qui correspond à 196 kilog. par mètre carré, par heure, et pour une différence de température de  $21^{\circ}$ , ce qui fait à peu près  $9^{\text{k}},33$  de vapeur pour une différence de  $1^{\circ}$ .

1210. En résumé, pour des appareils à double fond dans lesquels le tube à air est bien disposé, on doit admettre que chaque mètre carré peut condenser par heure 3 kilog. de vapeur pour une différence de

température de 1°, et que, pour les serpentins, cette quantité s'élève à 8 kilog.; mais à la condition que les serpentins ayant 25 à 35 millimètres de diamètre intérieur, n'aient pas plus de 20 à 30 mètres de longueur.

Quant aux appareils à grille, comme on ne peut pas en expulser complètement l'air, et qu'on ne peut pas être assuré que tous les tubes fonctionneront, il ne faudrait pas compter sur une condensation supérieure à celle des appareils à double fond.

1211. Dans tous les cas, il faut prendre pour température de la vapeur, non pas celle de la vapeur dans la chaudière, mais la température moyenne de la vapeur dans l'appareil. En général, quand les appareils ont des dimensions suffisantes, on s'éloignera peu de la vérité en prenant pour cette température, celle de la vapeur sous une tension égale à celle de la chaudière diminuée d'une atmosphère.

1212. Afin de donner une idée de la méthode qu'il faudra employer pour calculer la quantité de vapeur de chauffage à produire et l'étendue de la surface de chauffe d'un appareil, nous prendrons pour exemple la concentration du sirop. Le sirop, avant la cuite, porte le nom de clairce; il est ordinairement composé de 30 parties d'eau et de 70 parties de sucre. Pour être amenée à 47° de l'aréomètre, qui est le degré de concentration ordinaire, il doit perdre à peu près 15 pour 100 d'eau. Ainsi, si on voulait concentrer par heure 10000 kilog. de clairce, il faudrait évaporer 1500 kilog. d'eau et élever la masse à la température de l'ébullition. En supposant que la vapeur soit à trois atmosphères et par conséquent à 135°, et la clairce à 20°, comme la chaleur spécifique de la clairce est moitié de celle de l'eau, la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer la masse à 110°, qui est à peu près la température de l'ébullition, sera  $10000 \times 90 : 2 = 450000$ , qui correspond à  $450000 : 550 = 818^k,1$  de vapeur; ainsi la quantité totale de vapeur à fournir par heure sera égale à  $1500 + 818^k,1 = 2318^k,1$ . Quant à l'étendue de la surface de chauffe, il faut remarquer que, pendant le chauffage de la clairce, la différence moyenne de température de la vapeur et du liquide est  $(135 + 20 + 135 + 110) : 4 = 65 = 35$ , tandis que la différence moyenne de la température de la vapeur sur celle de la clairce pendant l'évaporation, diffère peu de 21°. On voit alors que, sous le rapport du temps, tout se passera comme s'il s'agissait de condenser  $1500 + \frac{21}{35} 818^k = 1990^k$



par heure, avec une différence de température de  $21^{\circ}$ . Alors l'étendue de la surface de chauffe, en supposant que la vapeur parcourt des serpentins, serait de  $1990:21 \times 8 = 12^{\text{m}},50$ . D'après ce que nous avons dit précédemment, il faudra 3 à 4 appareils.

Nous allons maintenant examiner les différentes dispositions des appareils.

1213. L'appareil représenté par la figure 1 (pl. 52) est le plus simple qu'on puisse employer pour le chauffage et l'évaporation par la vapeur; il est composé de deux chaudières placées l'une dans l'autre, dont les collets sont maintenus par des boulons; on met de l'eau dans l'intervalle qui les sépare, et dans la chaudière intérieure le liquide à évaporer. Une soupape de sûreté s'oppose à ce que la tension de la vapeur dépasse la limite fixée; un tube latéral indique le niveau de l'eau dans le double fond; un tube garni d'un robinet et d'un entonnoir permet d'introduire de l'eau dans le double fond pour la première fois, et de remplacer celle qui peut s'échapper à l'état de vapeur par la soupape de sûreté; le liquide évaporé s'écoule par un tube garni d'un robinet. L'appareil est placé sur un foyer qui chauffe directement la chaudière extérieure. L'appareil de la figure 1 ayant à peu près 3 mètres carrés de surface de chauffe directe ne pourrait pas évaporer plus de 70 à 80 kil. d'eau par heure.

1214. La disposition la plus simple, ensuite, est représentée fig. 2 (pl. 52). La chaudière d'évaporation est placée à côté et un peu au-dessus de la chaudière à vapeur; elle est garnie d'un double fond dont la paroi inférieure est inclinée vers la chaudière à vapeur; le même tube sert à conduire la vapeur et à ramener l'eau condensée dans la chaudière; le robinet pour l'évacuation de l'air est placé à l'extrémité opposée. On pourrait remplacer le double fond par un tuyau serpentant sur le fond de la chaudière, et terminé par le robinet à air, figures 3 et 4 (pl. 52).

1215. On donne souvent aux chaudières d'évaporation les formes fig. 5, 7 et 8 (pl. 52), dans lesquelles A représente le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière; B, celui de retour d'eau; C, le tube à air; et D le tuyau d'écoulement du liquide concentré. La première disposition a l'avantage de permettre de placer latéralement le tuyau d'écoulement du liquide concentré. La dernière permet de placer plus facile-

ment ce tuyau, qui, dans la disposition de la figure 7, est difficilement rendu étanche.

1216. Dans les appareils fig. 2, 3 et 4, la vapeur et l'eau de condensation, comme nous l'avons dit, s'écoulent par le même canal. Quoique cette disposition soit très-simple, elle est rarement employée, parce qu'elle exige que la chaudière d'évaporation soit au-dessus de la chaudière à vapeur, que le canal commun ait un grand diamètre, et qu'il s'élève d'une manière continue, et parce qu'enfin les mouvements en sens contraire de l'eau et de la vapeur se gênent toujours.

1217. Quelquefois on fait revenir l'eau de condensation à la chaudière par un tuyau distinct et qui descend jusqu'au fond de la chaudière. Mais pour éviter que l'eau de la chaudière ne soit élevée dans l'espace où la vapeur se condense, on place sur le tuyau une boîte M (fig. 5) garnie d'une soupape disposée comme l'indique la figure 6. La pression de la vapeur la maintient fermée, et elle ne s'ouvre que quand le poids de la colonne d'eau condensée, augmenté de la pression qui reste dans la chambre de condensation, peut vaincre la pression dans la chaudière; ce qui arrive toujours après un temps plus ou moins long; car l'eau, après avoir rempli la portion du tuyau qui précède la soupape, s'accumule dans la chambre de condensation, diminue l'étendue de la surface de condensation, et, en diminuant la condensation elle-même, augmente la force élastique de la vapeur dans la chambre. Dans le cas le plus défavorable, le retour d'eau fonctionnerait nécessairement après chaque opération, quand on aurait vidé la chaudière.

Mais le plus souvent on emploie les différents appareils que nous avons décrits en parlant de l'alimentation des chaudières à vapeur.

Pour expulser plus facilement l'air des chambres de condensation, et pour augmenter les surfaces de condensation, on a imaginé un grand nombre de dispositions différentes que nous décrirons successivement.

1218. Les figures 10, 11 et 12 (pl. 52) représentent deux coupes verticales et une projection horizontale d'une chaudière d'évaporation, dans laquelle la vapeur circule dans un faisceau de tubes parallèles soudés par leurs extrémités à deux tubes d'un plus grand diamètre. La vapeur arrive par le robinet A, et pénètre dans le tube CD, mais seulement jusqu'à une cloison *mn* qui sépare en deux parties égales sa capacité intérieure; de là, la vapeur entre à la fois dans la moitié des tubes parallèles,



pour revenir par l'autre moitié en poussant devant elle l'eau condensée qui s'échappe par le robinet B. Les robinets A et B ont un boisseau et une clef conique disposés de manière que la pression de la vapeur, dans l'intérieur de la clef, la presse contre le boisseau. Alors les robinets sont d'autant plus étanches, que la tension de la vapeur est plus grande. Les figures 13, 14 et 15 représentent une élévation, une coupe et une projection horizontale d'un de ces robinets.

Cette disposition a plusieurs inconvénients : 1° la vapeur circule rarement dans tous les tubes, par conséquent l'air n'est pas complètement expulsé, et une partie de la surface de chauffe est perdue ; 2° l'inégale dilatation des tubes qui restent pleins d'air et de ceux dans lesquels circule la vapeur, fait souvent casser les soudures ; 3° on ne peut nettoyer la chaudière qu'en dévissant les brides qui fixent la grille à la chaudière.

1219. Les figures 1 et 2 (pl. 53) représentent une coupe verticale et une projection d'un appareil dans lequel les inconvénients que nous venons de signaler n'existent pas, du moins au même degré. La chambre de condensation est formée d'un seul canal continu ; la vapeur arrive par les deux extrémités *a* et *a'*, et l'eau de condensation s'échappe par le tuyau *b*. La grille est simplement posée dans la chaudière, et on peut l'enlever en dévissant les écrous roulants qui établissent la communication des tuyaux *a*, *a'* et *b* avec leur prolongement ; mais il est préférable d'abaisser la chaudière. La figure 3 représente le mode de réunion des tuyaux entre eux et avec le cadre qui empêche la déformation de la grille. Le mode de jonction des tuyaux serait avantageusement remplacé par des écrous roulants.

1220. Les figures 4 et 5 (pl. 53) représentent un autre mode de jonction des tuyaux ; les extrémités des tuyaux sont seulement appliquées les unes contre les autres et fortement serrées par des tiges à écrous.

Ces deux dispositions exigent beaucoup de soins dans l'ajustage, et sont par conséquent d'un prix très-élevé.

1221. Les figures 6, 7 et 8 (pl. 53) représentent une autre forme de grille. Au-dessous du fond de la chaudière se trouve une plaque de fonte garnie d'arêtes qui forment les bords d'un canal continu ; le fond de la chaudière est fixé sur la plaque de fonte par des tiges en cuivre à écrous et à têtes perdues. Cet arrangement est compliqué, et il doit être difficile de rendre la chaudière parfaitement étanche.

En Angleterre, Spiller construit les fonds des chaudières avec deux plaques de cuivre, dont l'une ou toutes les deux sont embouties de manière à former par leur réunion un ou plusieurs canaux que parcourt la vapeur; les deux fonds sont réunis par des rivets (fig. 9, 10, 11, 12, pl. 53); ce mode de construction a mal réussi en France.

1222. Dans la disposition représentée par les figures 13 et 14 (pl. 53), due à M. Pecqueur, la vapeur pénètre d'abord dans la partie AB du tube rectiligne; elle parcourt simultanément les tubes recourbés, et s'échappe par la partie BC du grand tube; par cette disposition on évite, du moins en partie, les effets qui résultent de l'inégale dilatation des tubes.

1223. Les figures 15 et 16 représentent une autre disposition de grille. Chaque tube en renferme un plus petit qui amène la vapeur à son extrémité. Cette disposition est compliquée, mais elle évite complètement les effets provenant de l'inégale dilatation des tubes.

1224. Tous les appareils que nous venons de décrire sont trop compliqués. Le meilleur de tous est sans contredit un tube contourné en spirale (fig. 17, pl. 53). Ce tube peut être formé d'une seule pièce de cuivre rouge, il est par conséquent d'un prix beaucoup moins élevé que les appareils décrits précédemment; d'ailleurs l'air peut en être expulsé complètement, et les différentes parties peuvent se dilater librement, quelle que soit l'inégalité de leur température. Il doit être d'un petit diamètre, et sa longueur ne doit pas dépasser une certaine limite, car autrement la vapeur ne pourrait pas parvenir à son extrémité, et une partie de sa surface serait perdue comme surface de chauffe. Pour de la vapeur à 3 ou 4 atmosphères et des tuyaux de 25 à 35 millim. de diamètre intérieur, la longueur du serpentín ne doit pas dépasser 20 à 30 mètres; mais on peut en placer plusieurs dans la même chaudière.

1225. Comme il est important de pouvoir nettoyer facilement les grilles, on dispose souvent les appareils de manière à pouvoir enlever la grille de la chaudière en dévissant deux écrous roulants qui réunissent les extrémités de la grille avec le tuyau à vapeur et avec celui de retour d'eau. On pourrait même se contenter de rendre la chaudière mobile de haut en bas (fig. 6, 7, 8, pl. 51), si la grille, pour être nettoyée, ne devait pas supporter un grand effort; mais ce n'est pas le cas des grilles qui sont employées dans les fabriques de sucre indigène, car pour enlever les dépôts calcaires qui les recouvrent, il faut les frotter vivement



avec du sable. Les grilles, dans ces derniers établissements, doivent être nettoyées au moins tous les 4 jours, et dans les circonstances les plus défavorables une fois par jour.

1226. Pour faciliter le nettoyage des grilles, plusieurs constructeurs ont imaginé de les rendre mobiles autour d'un axe, et cela sans intercepter les communications. Nous décrivons les appareils de M. Moulfarine et de M. Pecqueur.

1227. L'appareil de M. Moulfarine est représenté dans les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 (pl. 54). La figure 1 est une élévation latérale; la figure 2 une coupe verticale prise par le milieu de la longueur; la figure 3 une projection horizontale; la figure 4 une coupe horizontale par l'axe de la grille, à une échelle double.

A, chaudière en cuivre de forme rectangulaire, reposant sur quatre colonnes en fonte, qui elles-mêmes sont ordinairement fixées sur un massif en maçonnerie. B, grands tubes en cuivre placés à égale distance du fond de la chaudière où ils forment une grille horizontale enveloppée par le sirop. Ils sont fermés par l'extrémité libre et vissés par l'autre bout sur le tuyau C. On voit dans les figures 3 et 4 que cette dernière pièce est terminée d'une part par un tronc de cône percé latéralement comme la bague en cuivre qui l'entourne, pour permettre la libre communication entre les tubes extérieurs B, et le tuyau coudé F; elle est supportée à l'autre extrémité par la pointe d'une vis *f*: par cette disposition on peut relever la grille et la nettoyer, ainsi que le fond de la chaudière. D, tubes renfermés dans les premiers et ouverts à leurs extrémités libres; ils sont montés à vis sur le diaphragme *a* qui sépare en deux parties l'intérieur du tube C. F, robinet à double orifice, dont la clef est mise en mouvement au moyen de la pièce *b* (la figure 6 représente ce robinet coupé suivant la ligne *xx*, fig. 4). Le premier orifice *c* sert à l'introduction de la vapeur, qui se rend d'abord dans les tuyaux D, revient ensuite par l'intervalle qui sépare les tuyaux B et D, et sort avec l'eau de condensation par l'orifice *e*. F, tuyau recourbé établissant la communication entre les tubes B et le tuyau de sortie G. H, robinet placé au-dessous et au centre de la chaudière, pour la vider lorsque le sirop est cuit. Pour faciliter cet écoulement, le fond de la chaudière est un peu concave.

La figure 5 représente le double robinet E des tuyaux d'entrée et de

sortie de la vapeur, et un fragment de la pièce C dégarnie des tubes qui viennent y aboutir. La figure 6 est une coupe verticale par l'axe du robinet. La figure 7 une coupe suivant la ligne  $yy$  (fig. 4). La figure 8 représente la disposition de la traverse  $l$  qui maintient l'écartement des tubes B; elle se compose de deux parties qui se réunissent aux extrémités par des vis, et qui renferment autant d'orifices circulaires qu'il y a de tubes; les vis de pression  $f$  sont destinées à servir d'appui à la grille en laissant un intervalle entre elle et la chaudière.

1228. Les figures 9, 10, 11 et 12 (pl. 54) représentent une autre disposition beaucoup plus simple due à M. Pecqueur. La grille à vapeur est disposée comme dans la figure 13 (pl. 53); les tubes peuvent éprouver de grandes différences de dilatation sans que les jonctions de leurs extrémités avec les tuyaux auxquels ils sont soudés, éprouvent de dérangements. La grille est mobile autour de deux boîtes fixées à la chaudière, dont l'une amène la vapeur et dont l'autre donne issue à l'eau de condensation; par conséquent la grille peut être relevée sous un angle quelconque pour faciliter son nettoyage et celui de la chaudière. Enfin la chaudière peut aussi être relevée de manière à faciliter l'écoulement du sirop cuit par le robinet de vidange.

A, chaudière de cuivre mobile autour de l'axe B. CC, pièces de fer fixées au-dessous de la chaudière et traversées par l'axe DD. EE, pièces soudées à l'axe FF mobile dans des coussinets fixes. Ces pièces sont articulées à deux autres d'une petite longueur, fixées à l'axe mobile DD. En faisant faire un demi-tour à l'axe DD au moyen d'une manivelle, on relèvera ou on abaissera la partie inférieure de la chaudière. H est le tuyau d'arrivée de la vapeur; I le tuyau de retour d'eau; L le robinet de vidange. La partie de cet appareil qui est destinée à soulever la chaudière, pourrait évidemment être remplacée avec avantage par une crémaillère, ou par une corde passant sur une poulie. Les figures 13 et 14 représentent sur une plus grande échelle les détails de la boîte tournante L, par laquelle s'effectue le retour d'eau de condensation. Un clapet N est destiné à empêcher l'eau condensée de revenir dans la grille, s'il arrivait que l'on fermât le robinet d'admission R sans avoir fermé auparavant le robinet R'. K est le tube qui sert à expulser l'air au commencement de l'opération. La boîte H ne diffère de celle-ci que par l'absence du tube à air K et du clapet N. La



figure 15 représente le mode d'ajustement des tubes sur les boîtes tournantes.

Tous ces appareils sont beaucoup trop compliqués : de simples serpents faciles à démonter, pour le nettoyage, et placés dans des chaudières dont le fond est un peu incliné vers le tuyau de vidange, pour éviter la nécessité de faire basculer les chaudières, sont encore bien préférables sous tous les rapports.

1229. M. Perpigna a imaginé une disposition très-différente de celles que nous venons de décrire. L'appareil se compose d'un tube de cuivre plié en hélice autour d'un axe horizontal mobile; l'hélice plonge par sa partie inférieure dans une bassine pleine de sirop, et le tube est traversé par un courant de vapeur. L'hélice étant soumise à un mouvement continu de rotation, la partie du tuyau qui se trouve exposée à l'air, produit une évaporation assez rapide du sirop qui en recouvre la surface, et qui se renouvelle continuellement. Cet appareil est compliqué, il exige un moteur particulier, et ne présente réellement aucun avantage sur les appareils fixes; aussi n'a-t-il jamais été employé.

1230. *Évaporation par des bains d'huile chaude.* Pour porter la chaleur des foyers dans le liquide à évaporer, on a employé différentes substances, principalement dans le but de ne mettre en contact avec le liquide que des corps dont la température fût peu élevée au-dessus de celle à laquelle l'évaporation devait avoir lieu. Nous avons vu que la vapeur d'eau remplit parfaitement cet objet.

Wilson, pour chauffer des liquides à une température supérieure à 100°, s'est servi d'huile qu'il échauffait à part, et qu'il faisait circuler, au moyen d'une pompe, dans un serpentin plongé dans le vase contenant le liquide qui devait être vaporisé. Cette disposition a été employée pour la concentration des sirops; l'huile était amenée à la température de 120 et quelques degrés : à cette température, elle ne laissait pas dégager une quantité sensible de vapeurs. On a trouvé que l'huile de baleine épurée était préférable aux autres.

Cet appareil a plusieurs graves inconvénients : 1° il est difficile de régler le feu de manière à maintenir constamment l'huile à la température convenable; 2° une quantité assez notable d'huile doit être vaporisée ou décomposée; 3° il faut une force assez considérable pour faire mouvoir la pompe. L'emploi de la vapeur d'eau, à une pression

de deux ou trois atmosphères, est bien préférable sous le rapport économique, et cette faible pression ne présente aucun danger qui ne puisse facilement être prévenu.

#### § 6. — ÉVAPORATION DANS LE VIDE.

1231. L'évaporation dans le vide pourrait se faire à la température ordinaire, au moyen d'une matière ayant une très-grande affinité pour l'eau et placée dans la même enceinte que le liquide à évaporer. Le prix de l'évaporation consisterait 1° dans la dépense qu'exigerait la production du vide; 2° dans la valeur du combustible nécessaire pour dessécher la matière absorbante. Ce mode d'évaporation n'est guère applicable que sur une petite échelle. Nous y reviendrons cependant dans le chapitre suivant, parce qu'il pourrait être employé avec quelques avantages pour la dessiccation des matières animales.

1232. Mais l'emploi simultané du vide, ou du moins d'une diminution de pression, et de la chaleur, est maintenant très-usité, surtout dans les raffineries de sucre et dans les fabriques de sucre indigène, parce que l'on évapore sans le contact de l'air et surtout très-rapidement, circonstances favorables à la conservation des sirops.

Ce mode d'évaporation a été mis à exécution pour la première fois en Angleterre par Howard; mais il a éprouvé depuis de grandes modifications, principalement dans les moyens employés pour faire le vide. Nous décrirons d'abord l'appareil d'Howard, et successivement ceux qu'on a essayé de lui substituer.

1233. *Appareil d'Howard.* Cet appareil est représenté figure 16 (pl. 54). A est une chaudière formée de deux calottes de cuivre rouge fortement boulonnées, destinée à cuire le sirop; elle est garnie d'un double fond dans lequel arrive la vapeur par le tuyau C. D est le tuyau de retour d'eau sur lequel est fixé le robinet du tube à air. E est une chambre où se réunissent les vapeurs; le sirop qui pourrait être entraîné mécaniquement retombe dans la chaudière. G est la chambre de condensation à laquelle aboutit un tuyau en communication avec la pompe à air destinée à maintenir le vide dans l'appareil, et qui n'est pas indiquée dans le dessin; l'eau froide arrive dans l'espace G par l'ouverture H lorsque, par le mouvement de la manivelle à vis I, on a soulevé la sou-



pape K et le piston L. F est le tuyau qui conduit les vapeurs de la chaudière au condenseur; un tube établit la communication de cet espace avec un manomètre P qui indique la pression sous laquelle on produit l'évaporation. Un tuyau F' est destiné à conduire les vapeurs condensées dans la capacité O, d'où il est facile d'évacuer l'eau au moyen du robinet R. M est le tuyau d'alimentation d'eau froide. N est un petit appareil destiné à prendre du sirop d'épreuve dans la chaudière, sans établir la communication entre sa capacité et l'air extérieur. Il est représenté sur une plus grande échelle figure 8 (pl. 55). Q est un thermomètre destiné à indiquer à chaque instant la température du sirop.

Dans ces appareils il y a toujours une différence de température de 9 à 12° entre la température de l'eau de condensation et celle du sirop.

La pompe à air exige un travail de 2 chevaux-vapeur, pour une fonte de 12000 kilog. de sucre brut par jour, ou une fabrication de 100 pains par heure, ou de 600 à 700 kilogr. de sucre blanc, et pour une condensation de 500 kilogr. de vapeur par heure. Le volume d'eau froide employé est à peu près de 10 à 11 mètres cubes par heure, l'eau de condensation étant à 30°.

1234. *Appareil de Roth.* Cet appareil ne diffère réellement de celui d'Howard qu'en ce que le vide est produit par la vapeur. La figure 1<sup>re</sup> (pl. 55) représente une coupe d'un appareil de Roth. A est la chaudière de cuite disposée comme dans l'appareil d'Howard, mais elle renferme un serpentín B dans lequel circule la vapeur. D est un vase en tôle épaisse dans lequel s'opère la condensation de la vapeur; il est garni d'un manomètre et d'un indicateur de niveau. E est le tuyau à vapeur communiquant avec la chaudière. F, G et H, les robinets d'admission de la vapeur dans le double fond, dans le serpentín et dans la chaudière. G' et F', les robinets de retour d'eau du double fond et du serpentín. I, le robinet destiné à introduire du beurre pour empêcher la cuite de devenir mousseuse. K est le robinet du tuyau qui plonge dans le vase ouvert renfermant le sirop à cuire. L, le robinet du tuyau d'écoulement du sirop cuit. M, le tuyau qui conduit les vapeurs dans le condenseur. N est un assemblage de plaques métalliques percées d'un grand nombre de trous à travers lesquels l'eau froide se répand en très-petits filets qui sont traversés par la vapeur. P, le robinet du tuyau d'alimentation de l'eau froide; Q, le réservoir d'eau froide, et R le robi-

net pour évacuer l'eau chaude et l'air à la fin de chaque opération.

Voici la manière d'opérer. La chaudière étant vide, en ouvrant les robinets H et R, les autres étant fermés, la vapeur s'introduit dans la chaudière et dans le condenseur; un mélange d'air et de vapeur sort par le robinet R, et après deux minutes environ, lorsqu'on suppose que tout l'air a été expulsé, on ferme ces robinets et on ouvre le robinet K d'admission du sirop; le liquide s'élève d'abord lentement par la condensation progressive de la vapeur dans la chaudière, occasionnée par le refroidissement de l'enveloppe, et ensuite très-rapidement quand une partie a pénétré dans la chaudière, à cause de la condensation brusque qu'elle occasionne. Lorsque le sirop, dans le bassin, est descendu à une limite fixée, on ferme le robinet K, et on ouvre les robinets F et G qui admettent la vapeur dans le double fond et dans le serpentín, ainsi que les robinets des retours d'eau, et quelques instants après le robinet d'injection P. Après quelques minutes on prend du sirop au moyen de la sonde, et quand il est arrivé au point convenable on ferme le robinet P d'injection; le sirop s'échauffe, et quand il est parvenu à 80 ou 90°, on ouvre le robinet de rentrée d'air et le robinet L, et le sirop cuit s'écoule. Pour procéder à une nouvelle opération, on ouvre le robinet R; l'eau chaude s'écoule, et on introduit de nouveau la vapeur dans la chaudière pour expulser l'air qui remplit la chaudière et le condenseur.

1235. La consommation d'eau doit être la même dans les appareils d'Howard et de Roth, la cuite ayant lieu à la même température. M. Roth l'estime à quatre fois le poids du sirop à cuire. D'après M. Roth, une chaudière de cuite ayant 2 mètres de diamètre, suffit complètement au travail qu'exige une fabrique opérant journellement sur 25,000 kilog. de sucre brut.

1236. Dans le Bulletin de la société d'encouragement, t. 30, où l'appareil de M. Roth est décrit, on trouve plusieurs assertions de l'auteur qui ont besoin d'explication, et d'autres qui sont complètement inexactes. M. Roth prétend qu'il faudrait quatre appareils d'Howard de mêmes dimensions qu'un seul des siens pour faire le même travail; mais c'est à la condition qu'ils auront chacun quatre fois moins de surface de chauffe, car il est bien évident que des appareils d'Howard et de Roth de mêmes dimensions, ayant la même surface de chauffe, et dans lesquels le vide serait maintenu au même point, devraient faire exacte-



ment le même travail. L'assertion de M. Roth serait probablement exacte pour des appareils d'Howard dans lesquels le sirop ne serait chauffé que par le double fond; ce serait aussi uniquement pour ces appareils que la durée des opérations serait quatre fois plus longue dans les appareils de Roth. M. Roth affirme encore que pour un appareil de moyenne grandeur qui correspond à une raffinerie qui fond 25 milliers de sucre brut par jour, la pompe à air de l'appareil d'Howard exigerait une force de 15 à 20 chevaux. Cette dernière assertion est complètement erronée. En effet, un travail journalier de 25,000 kilogr. de sucre brut par jour, ou de 2,500 kilogr. par heure, la journée de travail étant au plus de 10 heures, exige par heure à peu près 1000 kilog. de vapeur d'eau, qui correspond à  $\frac{1000}{5} = 200$  kilog. de houille; la chaudière à vapeur serait donc égale à celle d'une machine à vapeur de la force de  $\frac{200}{5} = 40$  chevaux. Or, la pompe à air d'une semblable machine qui doit consommer à très-peu près la même quantité de travail que la pompe à air d'une machine d'Howard employant la même quantité de vapeur, exige au plus la force de 3 à 4 chevaux. Ainsi l'assertion de M. Roth est singulièrement exagérée.

Il y a plus, c'est qu'une machine d'Howard consomme réellement moins de vapeurs pour établir et maintenir le vide qu'une machine de Roth : c'est un fait bien constaté par l'expérience et dont il est d'ailleurs facile de se rendre compte. La pompe à air d'une chaudière d'Howard exigeant 2 chevaux, si on admet qu'un cheval consomme 5 kilogr. de houille par heure, et que dans la chaudière à vapeur 1 kilogr. de houille ne produise que 5 kilogr. de vapeur, circonstances très-défavorables, la pompe à air exigerait par heure, en supposant la vapeur à basse pression, un volume de vapeur égal à  $50 : 0,59 = 85^m.c.$  Or, la capacité de la chaudière du condenseur de Roth est de  $10^m.c.$ ; en admettant deux opérations par heure, le volume d'air à chasser serait par heure de  $20^m.c.$ ; mais comme la vapeur est mêlée avec l'air, il faut certainement, pour expulser l'air, un volume de vapeur 5 à 6 fois plus grand; en le supposant seulement quintuple, ce qui est au-dessous de la réalité, la dépense de vapeur d'un appareil de Roth l'emporterait sur celle des appareils dans lesquels le vide est fait et maintenu par une action mécanique. Mais la consommation de vapeur des appareils de Roth est encore beaucoup augmentée par l'eau qui mouille les parois du condenseur et

celle qui reste dans l'appareil de distribution de l'eau. Il y a d'ailleurs un fait sans réplique : dans tous les appareils de Roth établis dans les raffineries et dans les fabriques de sucre, on a remplacé le condenseur par des pompes ; ces appareils deviennent alors identiques aux appareils d'Howard ; or, pour des appareils moyens correspondant à une fonte de sucre de 10 à 12,000 kilogrammes par jour, on a établi de petites machines à vapeur de 3 ou 4 chevaux, qui font mouvoir les pompes, et font en général un autre service qui réduit à 2 chevaux seulement la force qu'exige le premier travail.

1237. M. Degrand, pour estimer la quantité de vapeur consommée dans les appareils de Roth, établit son calcul d'une autre manière. Il dit qu'il y a 9' d'intervalle entre deux opérations ; que sur ces 9' il y en a 6 consacrées à purger d'air les appareils ; que la durée de chaque opération étant de 30', il y a un cinquième de la vapeur nécessaire à la cuite qui est employé pour chasser l'air. Ce calcul conduit à la même conclusion que précédemment, car il n'y a pas de machine à vapeur dont la pompe à air consomme les 0,20 du travail.

1238. M. Degrand, dans une brochure qu'il a publiée sur les appareils à cuire les sirops dans le vide, exagère comme M. Roth la dépense de travail de la pompe à air des appareils d'Howard ; il prétend que dans une fabrique de sucre de betteraves, dans laquelle on opère journellement sur 300 hectolitres de jus déféqué, et où l'on évapore journellement 273,000 kilogr. d'eau avec une consommation de 5520 kilogr. de houille, la pompe à air exigerait une machine de 10 chevaux. Mais remarquons que la consommation de houille par heure serait de  $5520 : 24 = 230$  kilogr., attendu que le travail a lieu jour et nuit, que cette consommation correspond à une machine de  $230 : 5 = 46$  chevaux, et que pour une semblable machine la pompe à air exige au plus le travail de 3 ou 4 chevaux. M. Degrand compte encore en dépense d'eau celle nécessaire à la machine ; mais il est bien évident, comme nous l'avons déjà dit, qu'on peut éviter toute consommation de vapeur et d'eau par la machine motrice.

1239. Les figures 5 et 6 (pl. 55) représentent la disposition d'un système de pompes généralement adopté. L'air et l'eau de condensation arrivent par le tuyau *a*, qui communique avec la partie inférieure des deux corps de pompe A et A' placés dans une grande caisse en fonte C. Les pistons sont



creux et munis chacun d'un clapet qui se lève de bas en haut. Les plaques de fond des corps de pompe sont également munies de soupapes qui se soulèvent de la même manière. Pendant l'ascension d'un piston il se fait un vide au-dessous de lui, le clapet inférieur se soulève, et l'air ainsi que l'eau sont aspirés dans le cylindre. Pendant la descente, la soupape inférieure se ferme, l'autre se lève pour livrer passage à l'air et à l'eau contenus dans le corps de pompe, et qui se rendent dans la caisse C d'où l'eau s'écoule ensuite par le trop plein D.

Les pistons reçoivent le mouvement du balancier E au moyen de deux tiges qui peuvent osciller en  $p$  et  $q$ ,  $p'$  et  $q'$ , ce qui évite l'emploi de parallélogrammes de Watt. Le balancier E est mis en mouvement par une machine à vapeur dont l'action est transmise par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle. Une force de  $1\frac{1}{2}$  cheval à deux chevaux suffit pour une paire de pompes ayant les dimensions de celle que représentent les figures, et fonctionnant à 30 ou 35 coups par minute, vitesse qu'on leur donne habituellement. Pour cette vitesse et pour ces dimensions, une paire de pompe dessert un appareil de cuite capable d'évaporer le sirop correspondant à la production de 600 à 700 kilogr. de sucre blanc par heure. Mais il faut dire que le vide est loin d'être parfait, l'élévation du mercure, dans le tube manométrique, varie de 0,55 à 0,60.

Il est important de remarquer qu'on peut réduire presque à rien la dépense réelle de la pompe aspirante dans les appareils d'Howard, en employant de la vapeur à haute pression, une machine à détente sans condensation, et en faisant ensuite passer la vapeur dans une des chambres de condensation de la chaudière, entre les deux fonds ou dans le serpent.

1240. *Appareil de M. Trappe et de M. Louvriér-Gaspard.* Ces constructeurs ont établi dans une raffinerie de Paris un appareil analogue à celui de M. Roth, mais dans lequel le condenseur a des dimensions beaucoup plus petites et se termine par un tube vertical d'environ 10 mètres de hauteur, dont l'extrémité inférieure plonge dans un vase constamment rempli d'eau et par lequel s'écoule l'eau de condensation. Cet appareil consomme moins de vapeur que celui de M. Roth, mais il exige ou un puits profond, ou que l'appareil soit placé dans les étages supérieurs des bâtiments.

Les chaudières à vide qu'on construit maintenant sont tellement bien faites, que des appareils de 2 mètres de diamètre, à 8 robinets, dont un

de 10 centimètres de diamètre, dans lesquels on a fait le vide, ne renferment après 24 heures que de l'air à une pression d'une demi-atmosphère.

On a renoncé aux doubles fonds, parce qu'ils sont d'un prix trop élevé; le cuivre ayant à peu près 0,004 d'épaisseur, leur prix ne s'élève pas à moins de 3,000 francs. On préfère augmenter la longueur des serpents intérieurs.

1241. *Appareil de M. Pelletan.* L'appareil de M. Pelletan est analogue à celui de Roth; mais l'expulsion de l'air a lieu par un jet de vapeur dirigé de dedans en dehors. La figure 2 (pl. 55) représente une coupe de cet appareil.

A est une chaudière en cuivre à double fond; E le tuyau qui amène la vapeur produite par le générateur; R, tuyau de retour d'eau. CC est un tube plongeur qui sert à remplir et à vider la chaudière. Il communique d'un côté avec le tuyau F qui plonge dans le réservoir qui contient le sirop à cuire, et de l'autre avec le tuyau G qui conduit le sirop dans l'empli après sa cuisson. Tous ces tuyaux sont munis de robinets. HH, tuyau partant du sommet de la coupole pour se rendre au bas du condenseur NN. Une partie *hh* de ce tube est en cristal et raccordée par des boîtes à étoupes pour qu'on puisse voir la marche de l'opération. Un robinet permet d'interrompre à volonté la communication de la chaudière avec le condenseur.

NN cylindre vertical destiné à la condensation de la vapeur; il contient dans son intérieur 12 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 bord relevé, 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 condenseur se trouve placé à des étages supérieurs d'un bâtiment; ce tuyau *p* plonge par son extrémité inférieure dans un vase ouvert qui demeure toujours plein d'eau qui s'oppose à la rentrée de l'air dans le tube. *m* est un manomètre à air libre.



$E'$  est un embranchement du tuyau à vapeur qui se termine par un ajutage conique  $i'$  produisant un jet de vapeur dans le canal  $i''$ , dont le diamètre est double de celui de l'orifice d'injection. L'effet de ce jet est d'entraîner l'air ou la vapeur contenue dans le condenseur et dans la chaudière, et de les projeter dans le tuyau K; en produisant un vide qui, avec de la vapeur à trois atmosphères et demie, et avec le rapport de diamètres indiqué, s'élève à  $0^m,50$  de mercure. Le tuyau K conduit la vapeur provenant du jet et celle que le jet appelle, partout où elle peut être employée utilement. Dans l'appareil décrit, la vapeur est envoyée dans le double fond du réservoir Q.

L'embranchement  $E'$  fournit la vapeur à une seconde injection destinée à produire à volonté dans la chaudière la pression nécessaire pour expulser le sirop cuit. Un robinet qui communique avec l'extérieur permet l'accès de l'air que le jet de vapeur pousse dans la chaudière en l'y comprimant.

Voici la marche de l'opération. L'appareil étant vide et tous les robinets fermés, on ouvre les robinets  $a$  et  $b$  pour mettre toutes les capacités en communication avec le tube d'injection. On ouvre alors le robinet  $l$ , le vide commence à s'établir, et pendant qu'il se produit on ouvre le robinet  $c$  qui laisse monter dans la chaudière le sirop qui doit la remplir. Les deux opérations sont terminées en deux minutes et le vide subsiste à  $0,50$  de mercure. On ferme alors le robinet  $c$  et on ouvre le robinet  $r$ ; le sirop s'échauffe et entre bientôt en ébullition; la vapeur qui se forme dans la chaudière chasse l'air qu'elle contenait encore, elle le pousse dans le condenseur, d'où il est expulsé par le jet de vapeur; mais comme ce jet n'est pas calculé pour enlever la totalité de la vapeur que la chaudière peut produire, on ouvre alors le robinet  $o$  pour fournir une certaine quantité d'eau d'injection qui condense une partie de la vapeur produite par la chaudière, et le robinet se règle de manière que le vide de  $0^m,50$  subsiste.

On voit que pendant cette première période de l'opération, la totalité de l'air contenu dans l'appareil en est expulsée, qu'ensuite la plus grande partie de la vapeur produite par la chaudière est également entraînée par le jet de vapeur dans le tuyau K, et qu'une partie seulement de cette vapeur est condensée par de l'eau froide.

La durée de cette première période de l'opération peut être limitée

à deux minutes; elle peut être, au contraire, prolongée jusqu'aux trois quarts de l'opération, c'est-à-dire, jusqu'à l'époque où un vide de 0<sup>m</sup>,50 deviendrait insuffisant.

Lorsqu'il devient nécessaire d'obtenir un vide plus parfait, ou lorsqu'on veut faire cesser la dépense du jet de vapeur, on ferme le robinet *a* et le robinet *l*, et l'on fournit par le robinet *o* toute la quantité d'eau froide nécessaire pour condenser la vapeur; le vide peut alors être porté jusqu'à 0,60 ou 0,70 de mercure, jusqu'à la fin de la cuite.

On voit, d'après cet exposé, que si l'on s'est procuré un emploi utile de la vapeur du jet et de la vapeur du sirop qu'il entraîne, on peut conduire l'opération de manière à n'employer qu'une très-petite quantité d'eau froide pour la condensation; tandis que, si l'on dispose d'une grande quantité d'eau froide, on peut ne faire usage du jet de vapeur que pendant 2 ou 3 minutes environ, c'est-à-dire, pendant un dixième de la durée de l'opération.

Lorsque le sirop est parvenu à son point de cuite, on ferme le robinet *r* pour faire cesser la chauffe; on ferme le robinet *b* pour séparer la chaudière du condenseur et conserver dans celui-ci le vide qui existe. On ouvre le robinet *d* pour laisser rentrer l'air extérieur dans la chaudière; enfin, on ouvre le robinet à vapeur *g*, et il se produit dans la chaudière une pression de 0<sup>m</sup>,50 pouces de mercure. Dans cet état, il suffit d'ouvrir le robinet *e* pour que le sirop s'échappe rapidement par le tuyau CC et se rende dans l'empli.

Pendant l'évacuation du sirop, la chaudière se remplit d'air humide; la couche mince de sirop qui recouvre le cuivre lorsqu'on a vidé les appareils, n'est pas évaporée et desséchée comme cela arrive quand l'air qui rentre dans l'appareil n'est pas chargé de vapeurs, et il ne se forme ni croûtes, ni dépôts.

Malgré les avantages que cet appareil peut présenter, comme il est compliqué et d'un service assez difficile, il n'a pas été adopté par l'industrie.

1242. *Appareil de M. Degrand.* Dans cet appareil, le vide est produit par la vapeur; mais à chaque opération on ne consomme qu'un volume de vapeur peu différent de celui du sirop; et la condensation ayant lieu à travers une enveloppe qui produit l'évaporation du liquide refroidissant, on ne consomme qu'un volume d'eau égal à celui qui est



fourni par le sirop. Les figures 3 et 4 (pl. 55) représentent deux élévations de l'appareil, qui suffisent pour en faire comprendre la disposition.

A est une chaudière en cuivre formée de deux calottes sphéroïdales, exactement close et assez solide pour résister à la pression atmosphérique. Cette chaudière est surmontée d'une capacité B, dans laquelle se rassemblent les vapeurs qui se dégagent du sirop contenu dans la chaudière A. Le sirop est chauffé comme dans les autres appareils du même genre, par de la vapeur qui circule dans le double fond de la chaudière et dans un serpentin; les robinets *f* et *g* règlent l'admission de vapeur; G et I sont les tuyaux de retour d'eau. Le robinet H sert à vider la chaudière quand l'opération est terminée. Pour enlever l'air de l'appareil, on introduit la vapeur dans la chaudière en tournant le robinet *f*, qui sert en même temps à introduire la vapeur dans le serpentin, et on ouvre le robinet *u*. Lorsque l'air a été expulsé, on ferme les robinets *f* et *u*, et on ouvre le robinet *q*; alors le liquide renfermé dans le réservoir supérieur Y commence à s'écouler sur le condenseur V, et le vide se produit. Cette opération terminée, on ouvre le robinet *i*, et la charge de sirop à cuire est aspirée dans la chaudière par les tuyaux MM'; on ouvre ensuite les tuyaux *f* et *g*, qui permettent l'accès de la vapeur dans le double fond et dans le serpentin; l'ébullition se manifeste bientôt. Les vapeurs produites dans la chaudière s'élèvent dans la capacité B, traversent le robinet *h* et passent dans le tuyau U, qui les conduit au condenseur V. Cet appareil est formé d'un serpentin renfermé dans un cylindre en tôle E, ouvert par le haut et par le bas; la vapeur circule dans le serpentin et elle est condensée par l'eau du réservoir Y qui tombe sur sa surface; en ouvrant le robinet *q*, cette eau se rend par le tuyau F' dans le manchon G' fermé par les deux bouts, qui enveloppe le tuyau U, où elle se chauffe; elle passe ensuite par le tuyau H' et par les tuyaux II' qui la versent dans un vase annulaire percé d'un grand nombre de petits orifices qui la distribuent sur le serpentin. La portion d'eau qui échappe à l'évaporation est reçue dans le vase annulaire A'A' qui la ramène dans un réservoir inférieur par un tuyau garni du robinet *v*. Lorsque ces appareils sont établis dans des fabriques de sucre indigène, on remplace l'eau par du jus déféqué, qui se concentre en parcourant les spires du serpentin. Le cylindre enveloppant donne à l'air une grande vitesse et accélère beaucoup l'évaporation. L'eau

provenant de la condensation des vapeurs dans l'intérieur du serpentín, se rend dans le vase C, d'où elle s'échappe par le tuyau de décharge D'. On peut l'évacuer à volonté sans laisser rentrer l'air dans l'appareil et sans suspendre le travail de la vaporisation dans la chaudière; pour cela, on ferme le robinet *u*, on met la capacité C en communication avec la chaudière à vapeur, et on ouvre le robinet de décharge *s*; lorsque l'eau est écoulée, on ferme le robinet *s* et on ouvre le robinet *u*. Au-dessous de la chaudière A est un cylindre O destiné à recevoir le sirop cuit, lorsqu'on ouvre le robinet H, le vide y étant fait préalablement par la vapeur. Dans les raffineries où l'on emploie de l'eau pour condenser la vapeur, celle qui sort du serpentín suffit.

On voit, d'après ce qui précède, 1° que s'il n'y avait pas de pertes par les robinets et les ajutages, le vide une fois formé dans l'appareil se maintiendrait indéfiniment, et qu'à chaque opération il suffirait de faire le vide dans le réservoir O et dans le réservoir C, ce qui consommerait un volume de vapeur égal à trois ou quatre fois seulement le volume du sirop avant la cuite; 2° que, dans les raffineries, on ne consommera pas d'eau pour la condensation; 3° que, dans les fabriques de sucre indigène, on pourra employer la condensation de la vapeur à évaporer du sirop déféqué, ce qui doublera à peu près l'effet utile du combustible.

Mais ces résultats ne sont pas complètement confirmés par l'expérience. Il faut de temps en temps faire le vide dans l'appareil, et même on ne peut éviter de le faire dans tout l'appareil à chaque opération, qu'autant que les sirops ne sont pas amenés par la cuite au point de cristallisation; car alors le sirop qui mouille le boisseau du robinet d'écoulement cristallise, et on ne peut plus faire tourner le robinet. Dans les appareils de Roth, on est même obligé de faire passer un peu de vapeur par ce robinet pour le laver. Il paraît que maintenant M. Degrand applique de petites pompes aspirantes à tous ses appareils. A la vérité elles n'exigent, d'après lui, que peu de travail; mais ce travail doit dépendre de l'état des ajustements et de l'usure des robinets.

1243. Il n'y a maintenant que deux systèmes d'évaporation en lutte dans les raffineries et les fabriques de sucre indigène : l'appareil d'Howard ou celui de Roth, dans lequel le condenseur est remplacé par des pompes, et celui de Degrand. En considérant ces appareils dans l'état où ils sont, les appareils de Degrand sont sans contredit préférables sous tous les

rapports. Mais si, dans des appareils d'Howard, la force motrice était fournie par la seule détente de la vapeur dans des machines sans condensation, la dépense de combustible pour une raffinerie serait inférieure à celle d'un appareil de Degrand, et il y aurait moins de chance de chômage, à cause de la plus grande simplicité de l'appareil. A la vérité, il y aurait une grande dépense d'eau; mais on pourrait refroidir rapidement l'eau chaude, de manière à l'employer plusieurs fois, en se servant d'appareils fondés sur le même principe que le condenseur de M. Degrand, principe dont il appartient à tout le monde de faire une autre application, d'abord parce qu'il n'y a pas de brevets pour des principes, ensuite parce que celui-ci a été décrit depuis longtemps. Mais, pour les fabriques de sucre indigène, l'appareil de Degrand conserverait ses avantages, à moins que l'on n'employât d'une manière utile la chaleur de l'eau de condensation, ou à chauffer des étuves, ou à évaporer des jus déféqués, ce qui serait facile à exécuter.

Les appareils de Degrand sont maintenant presque abandonnés dans les raffineries : une ou deux seulement s'en servent; on leur préfère les appareils d'Howard, ou ceux de Roth, dans lesquels le condenseur est remplacé par des pompes à air, et qui sont alors identiques avec ceux d'Howard. Cette préférence est uniquement fondée sur ce que les appareils de Degrand ont une limite de travail, tandis que ceux d'Howard n'en ont pas; car en augmentant la tension de la vapeur et le volume de l'eau d'injection, on peut augmenter indéfiniment le travail. Cette circonstance est d'une très-haute importance pour les raffineurs, qui doivent être plutôt considérés comme des spéculateurs que comme des fabricants, et pour qui il importe de pouvoir faire varier immédiatement, dans les limites très-étendues, les produits de leur fabrication; et c'est en outre le meilleur système, si le travail est produit par la détente seule de la vapeur. Les appareils de Degrand sont, au contraire, très-employés dans les fabriques de sucre indigène; mais on se sert d'un grand et d'un petit : d'un grand pour amener le jus à 27°, et dans lequel on ne fait le vide après chaque opération, que dans le cylindre qui doit recevoir le sirop cuit; d'un petit dans lequel on achève la concentration et où l'on fait le vide à chaque opération. Alors, pour ce dernier, la dépense de vapeur est plus considérable, quoique inférieure encore de beaucoup à celle qu'exige un appareil de Roth.



1244. Les appareils à évaporer dans le vide sont bien compliqués; ils exigent bien des soins dans leur construction et dans leur usage, et ils sont d'un prix très-élevé; car, d'après M. Degrand, pour une fabrique de sucre indigène opérant sur 300 hectolitres de jus déféqué par jour, un appareil de Roth coûterait 56,700 fr. de frais d'établissement, et un appareil de Degrand 35,700 fr., générateurs compris. En outre, dans presque toutes les raffineries où l'on emploie des chaudières de cuite chauffées à la vapeur qui évaporent dans l'air et dans le vide, on a reconnu que ces deux modes d'opération donnent les mêmes résultats, pourvu que la cuisson soit rapide et qu'on opère sur des sirops de bonne qualité, et que les sirops de qualité inférieure sont les seuls dont la cuisson dans le vide présente des avantages bien marqués sur l'ancien système d'évaporation.

1245. Ces considérations devraient engager les fabricants et les raffineurs de sucre à reprendre la question de la concentration des sirops par l'air, à une température un peu inférieure à celle de l'ébullition, car les mauvais résultats qui ont été obtenus par l'appareil de Brame-Chevalier, ne proviennent probablement que de l'incorporation forcée de l'air dans le sirop, par la méthode même employée pour mettre ces deux fluides en contact; peut-être obtiendrait-on de bons résultats en faisant seulement passer de l'air chaud sur le sirop, dont on augmenterait beaucoup l'étendue de la surface. On produirait facilement une concentration aussi rapide qu'on pourrait le désirer, au moyen de dispositions analogues à celles des figures 1, 2 et 3 (pl. 51), mais en chauffant le sirop par la vapeur. Ces essais coûteraient fort peu de chose, et si les expériences réussissaient pour les sirops de qualité inférieure, les appareils seraient si simples, qu'il en résulterait nécessairement un grand avantage.

§ 7. — APPAREILS D'ÉVAPORATION DANS LESQUELS LA CHALEUR EST  
EMPLOYÉE PLUSIEURS FOIS.

1246. D'après ce que nous avons dit à l'occasion de la distillation, on conçoit facilement que la même chaleur puisse être successivement employée à produire le même effet, et que les appareils de distillation à effets multiples dont nous avons parlé, soient applicables à la concentration des dissolutions. Mais, dans chaque cas particulier, il y a des con-

ditions à remplir, qui quelquefois sont incompatibles avec un emploi réitéré de la vapeur, ou du moins qui limitent beaucoup le nombre des effets qu'on peut produire.

1247. D'abord quand l'évaporation doit avoir lieu dans l'air à la température ordinaire ou à une température inférieure à celle de l'ébullition du liquide, l'évaporation a lieu par le renouvellement de l'air; et, dans ce cas, il serait extrêmement difficile d'employer plusieurs fois la chaleur renfermée dans la vapeur, à cause de la difficulté qu'on rencontre dans la condensation de la vapeur mêlée avec l'air. Mais quand le liquide peut être évaporé dans une chaudière fermée à une température supérieure à celle de son ébullition dans l'air, ou quand l'évaporation peut avoir lieu dans le vide, on peut utiliser plusieurs fois la chaleur dépensée pour la première opération, à la vérité avec des appareils compliqués qui exigent des soins dans leur construction et dans leur usage, mais qui produisent une économie de combustible considérable.

1248. Les figures 1, 2, 3 (pl. 56) représentent, la première, une coupe verticale, les deux autres les projections horizontales des deux étages d'un appareil construit par M. Derosnes pour concentrer le jus de betterave, et dans lequel 1 kilogr. de houille évapore de 9 à 10 kilogr. d'eau. A, B et C sont trois chaudières placées à des hauteurs différentes et chauffées par le même foyer F; le liquide à évaporer est renfermé dans le réservoir D, d'où il s'écoule constamment dans le vase E, et successivement dans les trois chaudières A, B, C, dont il parcourt les fonds en faisant de longs circuits commandés par les nombreuses chicanes dont ces fonds sont garnis; le liquide, après avoir parcouru les trois chaudières, se réunit dans le vase M. Les chaudières sont garnies de couvercles à fermetures hydrauliques, et de tuyaux qui conduisent les vapeurs dans le double fond d'une grande caisse métallique inclinée II. Ces vapeurs, en parcourant le double fond, se condensent, et les eaux de condensation se réunissent dans le vase R. Le réservoir K verse constamment dans le vase L, et celui-ci dans la partie supérieure de la caisse I, le liquide à concentrer, qui, après avoir parcouru les nombreuses sinuosités de la caisse, se rassemble dans le vase S. Ce dernier alimente le vase D, et le vase M le réservoir K. J'ai vu cet appareil fonctionner chez M. Derosnes; on a obtenu 9 kilogr. d'eau par kilogramme de houille.

1249. La figure 4 (pl. 56) représente une disposition qui commence



à être employée pour la concentration des dissolutions de carbonate de soude. L'appareil est composé de trois chaudières A, B, C, placées les unes à la suite des autres et à des hauteurs différentes; la première est placée à nu au-dessus du foyer ou sur une voûte en briques; la seconde est garnie d'un couvercle à fermeture hydraulique, et les vapeurs qu'elle produit vont se condenser dans un serpentin plongé dans la troisième chaudière. Chacune d'elles est alimentée par la suivante, au moyen des robinets D et E. Pour une consommation de 20 kilogr. de houille à l'heure, la somme des surfaces de chauffe des chaudières devrait être de 10<sup>m. c.</sup>, la grille de 21 décimètres, la section des carneaux de 7 décimèt. carrés. Par cette disposition on augmente au moins d'un tiers l'effet utile. Dans certaines circonstances on pourrait aussi utiliser la vapeur produite dans la première chaudière, du moins pendant une certaine partie du temps de la concentration.

1250. La figure 5 (pl. 56) représente un appareil qu'on pourrait employer pour la concentration des eaux salées. Il se compose 1° d'un générateur qui n'est point indiqué dans le dessin, qui serait alimenté par de l'eau ordinaire, et fournirait de la vapeur à 3 atmosphères, par exemple; 2° d'un système de 4 chaudières cylindriques verticales, A, A', A'', A''', toutes hermétiquement fermées, à l'exception de la dernière, et renfermant chacune un serpentin, B, B', B'', B''', en fer, dont les spires seraient très-serrées à la partie supérieure, et très-écartées à la partie inférieure. Le générateur communique avec le serpentin B, la chaudière A avec le serpentin B', A' avec B'', et A'' avec B'''; et les tubes de communication sont garnis de soupapes, chargées de poids calculés de manière que la différence de température de l'ébullition d'une chaudière et de la suivante soit constante. Les extrémités des serpentins communiquent avec des tubes D, D', D'', D''', qui se prolongent parallèlement dans un tuyau EF destiné à l'alimentation de la chaudière à vapeur; les tubes aboutissent à une caisse G où ils se terminent par des soupapes dont la charge sera déterminée par expérience.

Les tuyaux I, I', I'', I''', terminés intérieurement par des têtes d'arrosoir et branchés sur le tuyau EF, sont destinés à l'alimentation des chaudières A, A', A'', A'''; pour cela, l'eau salée est poussée dans le tuyau EF par une pompe foulante; l'alimentation de chaque chaudière se règle à l'inspection des tubes de niveau K, K', K'', K''', par le mouvement des ro-

binets dont sont garnis les tubes I, I', I'', I'''. L'opération se continue jusqu'à ce que le sel remplisse les chaudières à la hauteur des dernières spires serrées des serpentins. On reconnaîtra la hauteur du sel dans les chaudières par des tiges verticales passant à travers des boîtes à étoupe fixées sur la tubulure supérieure des chaudières et terminées par des plaques horizontales. Pour enlever le sel, on supprime l'arrivée de la vapeur dans la chaudière A. L'ébullition cesse dans toutes les autres, et on ferme les robinets d'alimentation. On enlève d'abord le liquide au moyen des robinets L, L', L'', L''', qui communiquent avec des tubes qui s'élèvent au centre des chaudières et qui sont percés d'un grand nombre de petits orifices sur toute leur hauteur; lorsque le liquide est écoulé on dévisse les plaques M, M', M'', M''', et le sel tombe dans la boîte NP.

Par cette disposition l'ébullition aura lieu, dans le générateur, à 135°; dans la chaudière A, à 128°; dans la chaudière A', à 121°; dans la chaudière A'', à 114°; et dans la chaudière A''' ouverte, à 107°, qui est la température de l'ébullition à l'air libre des dissolutions saturées de sel marin. La surface des serpentins à spires serrées devra être calculée en comptant que chaque mètre carré condense au moins 8 kilogr. de vapeur par mètre carré et par heure pour une différence de température de 1°. L'ébullition n'aura évidemment lieu qu'à la partie supérieure des chaudières, et l'eau d'alimentation s'échauffera progressivement en parcourant le tube EF et en s'élevant dans les chaudières.

Dans ce qui précède nous avons supposé que chaque chaudière était garnie d'une soupape qui fixait la température de l'ébullition; mais ces soupapes sont inutiles, et les points d'ébullition des chaudières successives se fixent d'eux-mêmes; car lorsque l'ébullition est établie dans l'une d'elles, la quantité de vapeur qu'elle produit est égale à celle qu'elle reçoit de la chaudière qui précède et à celle qui se forme dans celle qui suit, en négligeant la quantité de chaleur conservée par l'eau de condensation et celle qui est perdue par le refroidissement des vases. Il est évident que, dans l'appareil dont il est ici question, l'effet utile du combustible serait quatre fois plus grand que dans l'évaporation simple, et qu'il pourrait être encore plus considérable si on employait un plus grand nombre de chaudières.

1251. On pourrait augmenter l'effet produit en chargeant le générateur d'eau salée. La figure 6 (pl. 56) représente la disposition qui serait la plus





convenable. La chaudière T renfermant de l'eau salée a un plus grand diamètre à la partie supérieure qu'à la partie inférieure, et elle est chauffée à la partie supérieure seulement. La fumée passe ensuite autour de la partie supérieure des autres chaudières; toutes sont engagées dans une maçonnerie épaisse, qu'on pourrait remplacer par d'autres dispositions qui s'opposeraient également au refroidissement. Dans cette figure les mêmes lettres désignent les mêmes objets que dans la figure précédente.

1252. Un appareil analogue a été exécuté en Angleterre par John Reynolds, mais il était mal disposé; les surfaces de condensation formaient des tambours en cuivre rouge dont les deux fonds étaient réunis par un grand nombre de tubes de même métal et d'un petit diamètre. L'appareil a bien marché d'abord, mais les tubes se sont bouchés par les cristaux de sel. Cet accident ne serait certainement pas arrivé si l'on avait employé des serpentins. On pourrait d'ailleurs les nettoyer au moyen d'un appareil intérieur facile à imaginer, et mis en mouvement par un axe qui passerait à travers une boîte à étoupe fixée sur la plaque de la tubulure supérieure des chaudières.

Dans la patente de John Reynolds se trouve une disposition particulière pour rendre l'appareil continu; elle est représentée dans la figure 7. Au-dessous de la chaudière A se trouve un réservoir B, où se réunit le sel cristallisé; sa communication avec la chaudière peut être interceptée quand il est rempli de sel; alors on peut en lever le sel qu'il renferme sans interrompre l'opération. La fermeture par une soupape C qu'on manœuvrerait au moyen d'une tige passant à travers une boîte à étoupe, serait le mode le plus simple, mais on pourrait craindre que des cristaux de sels déposés contre le boisseau de la soupape ne s'opposassent à sa fermeture complète; la soupape devrait être garnie d'étoupe.

Tout ce que nous venons de dire sur les chaudières à évaporer les dissolutions de sel marin ne peut être considéré que comme des indications, tous les détails des appareils devraient être étudiés avec beaucoup de soin en ayant égard aux conditions particulières aux différentes localités. Mais il n'est pas douteux qu'on parviendrait facilement, après quelques essais, à réduire au moins à un quart la consommation habituelle de combustible pour le même produit.

1253. C'est surtout dans les fabriques de sucre indigène qu'il serait important de diminuer la dépense de combustible en employant des ap-



pareils disposés de manière à produire plusieurs évaporations avec la même chaleur; car, dans ces établissements, le combustible entre pour une très-grande proportion dans le prix de revient du sucre. On s'en rendra facilement compte en remarquant que le rendement ordinaire du jus de betterave étant de 5 pour cent, il faut évaporer 95 kilogr. d'eau pour obtenir 5 kilogr. de sucre, ce qui fait 19 kilogr. d'eau par kilogr. de sucre; par conséquent, chaque kilogramme de sucre coûte à peu près 4 kilogr. de houille, quand l'évaporation a lieu directement.

1254. Pour l'évaporation de certains sirops on ne pourrait pas employer les appareils à haute pression, à cause de l'altération que le sucre éprouverait à ces hautes températures; il faudrait évaporer sous des pressions inférieures à celles de l'atmosphère, et on arriverait facilement à réduire à un quart ou à un cinquième la dépense de combustible.

La figure 1 (pl. 57) représente une indication de la disposition qu'il faudrait employer. A, A', A'', sont trois chaudières à cuire dans le vide, renfermant un double fond et un serpentín, et tous les accessoires qui se trouvent dans ces sortes d'appareils. La vapeur produite dans la première se dégage par les tubes B et C, se répartit au moyen des robinets D et E dans le serpentín et le double fond de la seconde; la vapeur de la seconde passe de même dans le serpentín et le double fond de la troisième; enfin celle de cette dernière se condense dans un serpentín exposé à l'air libre comme dans l'appareil de Degrand. F, F', F'', sont les robinets pour vider les cuites; G, G', G'', les réservoirs qui les reçoivent et dans lesquels on fait le vide à chaque opération au moyen des robinets H, H', H'', et I, I', I''; K, K', K'', et L, L', L'', sont les robinets de retour d'eau des doubles fonds et des serpentíns; N, N', N'', les réservoirs d'eau de condensation; P, P', P'', les tubes d'alimentation des chaudières.

Le vide étant fait dans l'appareil, les chaudières étant chargées de sirop, la vapeur du générateur arrivant dans le double fond et dans le serpentín de la première chaudière, les robinets D, D', D'' et E, E', E'' étant ouverts, tous les autres étant fermés, et le sirop froid arrivant sur le serpentín exposé à l'air libre qui se trouve au delà de la chaudière A'', il est évident que chaque chaudière produira la même quantité de vapeur, puisque la vaporisation de chacune d'elles provient de la chaleur dégagée par la condensation des vapeurs fournies par celle qui précède, en négligeant toutefois la chaleur que renferme l'eau de condensation et la

perte de chaleur par le refroidissement des chaudières. Alors, en supposant que toutes les chaudières renferment la même étendue de surface de chauffe, la différence de température de l'ébullition dans les différentes chaudières sera constante; ainsi tout dépendra de la température de l'ébullition dans la dernière chaudière A'', et de la température de la vapeur du générateur; si cette dernière température était de 100°, et celle de l'ébullition dans la chaudière A'' de 70°, elle serait de 80° dans la chaudière A', et de 90° dans la chaudière A. Si on voulait qu'elle ne fût que de 80° dans cette dernière, la température de la vapeur du générateur serait en excès de 20°; et les températures dans les chaudières A', A'' seraient de 60° et 40°. Mais si les surfaces de chauffe dans les chaudières A' et A'' étaient deux fois plus grandes que celle de la chaudière A, les températures de A' et de A'' seraient de 70° et de 50°.

Mais cela suppose que les surfaces de chauffe sont seulement suffisantes dans chaque chaudière, et comme elles sont toujours beaucoup plus grandes dans chacune d'elles, celle qui est utilisée est variable, et les températures du sirop dans les chaudières seront beaucoup plus rapprochées. La température de la première chaudière dépendra à la fois de la tension qui reste dans le serpentin exposé à l'air libre, du volume et de la température de la vapeur qu'on y introduit, de sorte que la température de cette vapeur restant constante en faisant tourner plus ou moins les robinets d'introduction dans le double fond et dans le serpentin, ainsi que le volume de sirop froid qu'on fait tomber sur le serpentin exposé à l'air libre, on pourra obtenir l'effet demandé, et pour la durée de l'opération, et pour la température de l'ébullition dans la première chaudière; quant aux températures dans les autres, il est absolument impossible de les déterminer; ces températures seront décroissantes, et les différences dépendront de l'étendue des surfaces de chauffe et de la température des eaux de condensation; mais cela est sans importance; le point essentiel est de produire un effet donné dans un temps donné, la température du sirop dans la première chaudière étant fixée.

L'expérience seule pourra faire connaître le nombre de chaudières qu'on pourra employer.

Il est bien entendu que l'appareil serait disposé de manière que l'on ne fût obligé de faire le vide dans les chaudières qu'une ou deux fois par jour, mais à chaque opération dans les réservoirs N et G seulement. Comme



la rentrée de l'air a principalement lieu par les robinets, on pourrait les loger dans des boîtes renfermant des liquides visqueux, qui ne passeraient pas comme l'air à travers les petits orifices que laissent les ajustements.

Il y aurait peut-être plus d'avantage à produire et à maintenir le vide par des pompes à air qui communiqueraient avec les réservoirs d'eau de condensation, et qui seraient mises en mouvement par une machine à haute pression et à détente sans condensation, la vapeur étant ensuite employée au chauffage. La force motrice ne coûterait rien, les appareils seraient plus simples, et les rentrées d'air seraient immédiatement réparées; mais chaque chaudière devrait avoir sa pompe.

La question dont il s'agit est d'une extrême importance pour les fabriques de sucre indigène; les résultats déjà obtenus par les appareils de M. Derosnes (fig. 1, pl. 56), et des considérations théoriques irrécusables ne permettent pas de douter qu'on ne réussisse à obtenir une très-grande économie de combustible avec des appareils agissant successivement les uns sur les autres; mais ces appareils devraient être étudiés par l'expérience sur une échelle suffisante.

1255. *Évaporation des liquides, en employant, comme moyen de chauffage, la vapeur qui se dégage, après l'avoir comprimée.* Dans ce qui précède, nous avons indiqué l'emploi de la chaleur de la vapeur pour produire des évaporations successives sous des pressions décroissantes. M. Pelletan a imaginé un autre mode d'évaporation qui consiste à aspirer au moyen d'une pompe la vapeur qui se produit dans une chaudière fermée, et à la comprimer dans un double fond de manière que sa température s'élève de plusieurs degrés; cette vapeur se condense en en produisant de nouvelle dans la chaudière; alors, si l'eau de condensation en s'échappant échangeait sa température avec le liquide d'alimentation de la chaudière, et s'il n'y avait point de perte de chaleur par les parois de la chaudière, il est évident qu'avec la même quantité de chaleur on pourrait évaporer un poids indéfini d'eau au moyen d'une certaine puissance mécanique. Mais comme l'utilisation de l'eau de condensation présenterait trop de difficultés, on doit compter qu'elle serait abandonnée à 100°. Alors la dépense de chaleur pour évaporer 1 kilogr. d'eau serait seulement de 100 unités, au lieu de 650, et avec 1 kilogr. de vapeur partant d'un générateur, on pourrait évaporer

6<sup>l</sup>,5 d'eau. D'après M. Pelletan, on ne dépenserait que 1 kilogramme de charbon pour évaporer 30, 37, 43 et même 100 kilogrammes d'eau. Mais cela ne serait évidemment possible qu'autant que l'on ne tiendrait pas compte du travail dépensé pour faire mouvoir les pompes, et que l'eau de condensation, du moins pour les derniers chiffres, ne serait pas abandonnée à 100°. M. Pelletan a aussi proposé de produire la dilatation dans la chaudière et la compression de la vapeur dans le double fond, par une injection de vapeur; il paraît même qu'il a complètement abandonné le premier système pour le second. Voici la disposition de l'appareil représenté figures 8 et 9 (pl. 56) : la première est une coupe longitudinale, et la seconde une coupe perpendiculaire à la première.

M, chaudière à fermeture hydraulique dont le couvercle I est équilibré par un contre-poids K. Cette chaudière, destinée à la concentration des jus de betteraves, est chauffée par un double serpentin G placé au fond de la chaudière. A, A, tuyaux d'aspiration des vapeurs formées dans l'appareil. *b, b*, jets de vapeur contenus dans les boîtes B, B pour appeler les vapeurs par les tuyaux A, A et les refouler dans le serpentin; D, D, prises de vapeur supplémentaires pour la mise en train; F, F, réservoirs destinés à retenir l'eau entraînée mécaniquement par la vapeur qui arrive du générateur par un tuyau E; H, tuyau de retour de l'eau condensée dans l'appareil de chauffe; LL, soupapes pour l'évacuation des vapeurs; P, appareil pour faire baisser les jus quand ils montent; Q, reniflard; O, robinet de vidange. On voit, d'après cette disposition, que lorsque, par une opération préliminaire, on a purgé d'air la chaudière et qu'on ouvre tous les robinets, le jet de vapeur, en s'échappant par la buse *b*, appelle la vapeur qui se forme dans la partie supérieure de la chaudière, la comprime en la lançant dans le serpentin, et que le chauffage a lieu et par cette vapeur et par celle qui est fournie par le générateur. La chaudière sur laquelle on a fait les expériences que nous allons rapporter avait un mètre de largeur sur 2<sup>m</sup>,50 de longueur.

Dans la première expérience qui a duré une heure, après avoir chauffé à 100° l'eau contenue dans la chaudière M, on a ouvert toutes les communications, à l'exception de celle de la chaudière avec le serpentin; la pression dans le vase F a été maintenue à 5 atmosphères, la pression dans le serpentin à 0<sup>m</sup>,84; on a recueilli l'eau de condensation du serpentin et celle qui provenait de la vapeur non condensée dans cet

espace en la faisant passer à travers un autre serpentín. Pendant toute la durée de cette expérience l'aspiration indiquée par le manomètre a été de 0<sup>m</sup>,18.

La quantité d'eau condensée dans le serpentín et recueillie par le robinet *e*, a été de 40 litres, et le volume d'eau évaporé, déduit de l'abaissement de niveau pendant la durée de l'expérience, a été de 30<sup>l</sup>,75.

Dans la seconde expérience, on a commencé par expulser l'air de la chaudière et par chauffer l'eau à 100°, en y introduisant directement la vapeur, ensuite on a fait passer la vapeur dans le serpentín, et on a ouvert les robinets *a, a*; la pression dans le vase F a été maintenue à 5 atmosphères, et à 0,873 dans le serpentín. La quantité d'eau évaporée dans la chaudière a été de 91<sup>l</sup>,9. En admettant que la quantité de vapeur fournie par le générateur était la même dans les deux expériences, il s'ensuivrait que 40 kilogrammes de vapeur auraient évaporé 91<sup>l</sup>,9 d'eau, et par conséquent 1 kilogramme de vapeur  $\frac{91,9}{40} = 2<sup>l</sup>,3$ , et que le rapport des effets utiles de la même quantité de vapeur, dans ces deux expériences, serait celui de 91,9 à 30,75, c'est-à-dire, 2,99. Ce rapport serait même un peu plus grand, parce que la pression de la vapeur dans le serpentín ayant été plus grande dans la seconde expérience que dans la première, la quantité de vapeur fournie par la buse a été plus petite dans le rapport de  $\sqrt{380-87}$  à  $\sqrt{380-84}$ , c'est-à-dire, dans le rapport de 0,94 à 1. Mais on ne sait pas si la quantité de vapeur non condensée n'était pas plus grande dans la seconde expérience que dans la première, et on ne peut réellement rien conclure de ces expériences. La seule manière de reconnaître l'effet que ce mode d'opération pourrait produire, serait de condenser complètement la vapeur à la sortie du serpentín; le poids de l'eau qu'on obtiendrait ainsi, ajouté à celui de l'eau écoulée du serpentín, représenterait le poids de la vapeur fournie par le générateur et celui de la vapeur d'eau fournie par le liquide à évaporer, et comme ce dernier poids peut facilement se déduire de l'abaissement du niveau, on trouverait facilement le rapport de la quantité de vapeur employée à celle qui est produite; jusqu'à ce que l'expérience ait été faite ainsi, on ne peut avoir que des probabilités sur l'efficacité de ce nouveau moyen d'évaporation. Cet avis a été celui de la commission de l'Académie, car



elle n'a pas voulu assister aux expériences dont nous venons de donner les résultats.

1256. On peut aussi utiliser la chaleur qui provient de la condensation des vapeurs pour produire une seconde évaporation, lorsque la température de l'ébullition du second liquide est moins élevée que celle du premier. Il est même des cas dans lesquels cette opération s'exécute avec une extrême facilité. Par exemple, dans les fabriques d'acide acétique, l'acide brut obtenu par la distillation du bois doit être distillé pour être séparé d'une partie du goudron qu'il contient, après quoi il doit être combiné avec la chaux, et la dissolution d'acétate de chaux doit être concentrée jusqu'à un certain point. Or, cette concentration peut être produite par la chaleur qui se dégage de la condensation des vapeurs dans la distillation de l'acide brut, et pour cela, au lieu de conduire les vapeurs dans un serpentin, on les fait arriver dans un lait de chaux, l'acide se combine avec la chaux, et la chaleur qui résulte de la condensation des vapeurs et de la combinaison concentre la dissolution d'acétate de chaux. Ce procédé a été mis en pratique par MM. Thomas et Laurens, et réussit très-bien.



---

## CHAPITRE XII.

### SÉCHAGE.

---

1257. L'opération dont il s'agit maintenant a pour objet, comme son nom l'indique, de dessécher une substance solide, c'est-à-dire, d'évaporer les dernières portions d'eau qu'elle contient. Dans certaines circonstances, cette opération peut avoir lieu par l'air à la température ordinaire, ou à une température plus ou moins élevée; d'autres fois, elle ne peut s'effectuer que par la chaleur seule, et à une température élevée. Quand la dessiccation a lieu à une haute température, elle porte souvent le nom de calcination.

1258. Il faut bien distinguer les séchoirs des étuves. Les séchoirs sont destinés à produire le séchage par un courant d'air froid ou chaud. Les étuves sont des espaces clos dans lesquels l'air est échauffé et ne se renouvelle pas; telles sont les étuves des raffineries où l'on fait cristalliser les sucres de qualités inférieures, les étuves à fermentation, les couvoirs, etc.

1259. Les matières à dessécher peuvent être en masse plus ou moins volumineuse, ou en fragments d'une petite dimension. Dans ces deux cas, les procédés de séchage sont fort différents. Par exemple, si les matières à sécher sont des fils ou des tissus, on pourra facilement, en les suspendant à des perches ou à des cordes, les espacer de manière que l'air puisse facilement circuler, et les dessécher rapidement, soit dans un lieu découvert par l'air libre, soit dans un espace fermé par des courants forcés d'air froid ou chaud; mais si la matière à dessécher était de la poudre ou de l'orge germé, il faudrait ou renouveler souvent les surfaces, ou construire des appareils particuliers pour faire circuler l'air à travers leur masse.

Nous examinerons d'abord le séchage des matières non pulvérulentes, et nous prendrons pour exemple le séchage des tissus. Tous les détails de calcul seront applicables à la dessiccation des fils, du papier, de la colle, etc. Pour chacune de ces matières, les appareils devraient recevoir des dispositions particulières faciles à déterminer, mais qui seraient toujours fondées sur les mêmes principes.

§ 1. — SÉCHAGE A L'AIR LIBRE.

1260. Le séchage à l'air libre consiste uniquement à suspendre les tissus sur des cordes ou des perches, à l'extérieur où dans des pièces dont l'air se renouvelle facilement; il est de tous les modes de séchage le plus généralement employé, parce qu'il est à la fois le plus simple et le plus économique.

1261. Dans les grandes blanchisseries, on emploie des bâtiments très-élevés, construits en bois et à claire-voie. Cette disposition est avantageuse, parce qu'elle diminue beaucoup la main-d'œuvre qui serait nécessaire, si tous les jours il fallait porter les tissus à l'étendage, et les enlever rapidement lorsqu'il doit pleuvoir.

1262. Ce mode de séchage a cependant un grand inconvénient; il est très-irrégulier, car il dépend de la température de l'air, de son état hygrométrique, et du vent. Dans certaines circonstances, il est extrêmement rapide; dans d'autres, il est très-lent et quelquefois complètement nul. Ainsi, par le séchage à l'air libre, on ne peut pas faire de travaux réguliers et continus, ou bien il faut des séchoirs d'une dimension extrêmement considérable pour y accumuler les tissus, quand le temps n'est pas favorable.

Les seules conditions à remplir dans ce mode de séchage, consistent : 1° à placer le séchoir dans un lieu découvert où l'air circule facilement; 2° à lui donner une grande élévation, parce que l'air est d'autant plus sec et plus agité qu'il est plus éloigné de la surface de la terre; 3° à donner un libre accès à l'air par toutes les faces du bâtiment. Lorsqu'il est dangereux de laisser pénétrer dans les séchoirs l'air saturé d'humidité, par exemple, dans les séchoirs à colle, on place sur les faces du bâtiment de grandes jalousies que l'on ouvre et que l'on ferme à volonté. Ordinairement on couvre les séchoirs d'un toit qui déborde beau-



coup les faces latérales, afin d'abriter les matières qu'il renferme des pluies obliques. Nous ne pouvons pas entrer dans de plus longs détails sur un sujet que nous ne devons considérer que d'une manière générale.

### § 2. — SÉCHAGE A L'AIR CHAUD.

1263. Le séchage par l'air chaud est très-favorable à la régularité du travail, et il est souvent nécessaire lorsque la dessiccation doit se faire rapidement. Ce mode de séchage est évidemment plus cher que celui qui se fait à l'air libre.

1264. Les séchoirs à air chaud, qui portent souvent le nom impropre d'étuves, peuvent se diviser en deux classes: ceux qui reçoivent l'air chauffé extérieurement, et ceux dans lesquels l'air est chauffé intérieurement.

Dans les premiers, le courant est continu; dans les derniers, il est ordinairement intermittent, du moins on ne donne issue à l'air que quand il est complètement saturé. Nous examinerons successivement ces deux classes d'appareils.

1265. *Séchoirs à courants d'air chauffé extérieurement.* Ces séchoirs consistent toujours en une ou plusieurs chambres closes, dans lesquelles sont étendus les tissus, et qui ont deux ouvertures, l'une, par laquelle arrive l'air chaud, l'autre par laquelle l'air saturé d'humidité se dégage dans l'atmosphère.

1266. Les dimensions des différentes parties de l'appareil doivent être calculées de manière à produire l'effet demandé; et les dispositions intérieures doivent être telles, que l'air ne s'échappe que complètement saturé, et se renouvelle dans toute l'étendue du séchoir.

1267. *Calcul du volume d'air chaud et de la dépense de combustible.* L'appareil devant toujours être construit de manière à produire l'effet demandé dans toutes les circonstances possibles, il faut toujours établir les calculs pour le cas le plus défavorable; ainsi, dans chaque localité, il faudra supposer l'air extérieur à une température supérieure à la moyenne de l'année, et complètement saturé de vapeur d'eau. C'est un cas extrême qui ne se présentera peut-être jamais; mais tout étant disposé pour produire l'effet demandé dans le cas le plus défavorable, on pourra facilement l'obtenir dans toutes les autres circonstances.

Pour le nord de la France, on peut supposer l'air à 15° et complètement saturé.

1268. Le volume d'air chaud à faire passer dans un temps donné à travers le séchoir, et la température à laquelle il doit être porté à son entrée dans le séchoir, dépendent encore de deux éléments qui doivent être déterminés d'avance : 1° la quantité d'eau à évaporer par heure ; 2° la température de l'air chaud saturé à sa sortie du séchoir.

1269. La quantité d'eau à évaporer par heure se déduira de la quantité de matières que l'on veut sécher dans un temps donné. Par exemple, si on voulait sécher par jour 100 pièces de calicot, comme chaque pièce de 24 mètres de longueur renferme encore 2<sup>k</sup>,50<sup>e</sup> d'eau au sortir de la presse, il faudrait évaporer par jour  $100 \times 2,5 = 250$  kilogrammes d'eau.

Voici, d'après Tredgold, les quantités d'eau absorbées par différentes substances : ces matières ont été pesées sèches, et ensuite après avoir été trempées dans l'eau et tordues.

	Poids sec.	Poids mouillé.
Flanelle.....	1	3
Calicot.....	1	2 <sup>1</sup> / <sub>10</sub>
Soie.....	1	1 <sup>1</sup> / <sub>10</sub>
Toile de lin.....	1	1 <sup>1</sup> / <sub>10</sub>
Toile à voile.....	1	1 <sup>1</sup> / <sub>10</sub>
Papier.....	1	1 <sup>1</sup> / <sub>10</sub>
Papier à dessin.....	1	1 <sup>12</sup> / <sub>50</sub>

Ces nombres ne doivent être considérés que comme des approximations ; dans chaque cas particulier il sera nécessaire de déterminer par des expériences directes la quantité d'eau que renferment les substances sur lesquelles on veut opérer.

1270. Quant à la température de l'air au sortir du séchoir, il est toujours avantageux, comme nous allons le voir, qu'elle soit très-élevée. Cependant il est des circonstances qui exigent qu'elle le soit peu. C'est à l'expérience à décider, dans chaque cas particulier, quelle est la température la plus convenable.

1271. Pour reconnaître quelle est la température de l'air chaud la plus avantageuse sous le rapport de l'économie du combustible, j'ai calculé la quantité d'eau évaporée par 1 kilog. de houille employé à chauff-



fer de l'air à différentes températures en supposant qu'il se sature ensuite complètement de vapeur d'eau.

Je vais rapporter les calculs pour la température de  $10^{\circ}$  de l'air saturé, en supposant l'air extérieur sec et à  $0^{\circ}$ .

L'air sortant saturé à  $10^{\circ}$ , chaque mètre cube, sous la pression de  $0^{\text{m}},76$ , contient  $0^{\text{k}},0095$  de vapeur (50) dont la force élastique est de  $0^{\text{m}},009$ . Le nombre d'unités de chaleur nécessaires à la vaporisation de l'eau contenue dans 1 mètre cube, sera  $0,0095 \times 650 = 6,17$ . Le poids de 1 mètre cube d'air sec à  $10^{\circ}$  étant  $1^{\text{k}},3 : (1 + 0,00365 \times 10) = 1^{\text{k}},25$ , le poids de l'air sec à  $10^{\circ}$  qui se trouve dans 1 mètre cube d'air saturé sous la pression de  $0^{\text{m}},76$ , sera  $1^{\text{k}},25 \times 0,751 : 0,76 = 1,23$ . La température de l'air avant la saturation est évidemment  $10 + 6,17 \times 4 : 1,23 = 30^{\circ}$ . En admettant que, dans le calorifère, 1 kilogr. de houille produise un effet utile égal à 6000 unités de chaleur, 1 kilog. de houille pourrait élever 1 kilog. d'air à  $6000 \times 4 = 24000^{\circ}$ , et  $24000 : 30 = 800$  kilog. d'air, ou  $800 : 1,23 = 650$  mètres cubes d'air de  $0^{\circ}$  à  $30^{\circ}$ ; or, comme chaque mètre cube d'air saturé renferme  $1^{\text{k}},23$  d'air sec et  $0^{\text{k}},009$  de vapeur, il s'ensuit que chaque kilogramme de houille pourra évaporer  $650 \times 0,009 = 5^{\text{k}},85$  d'eau.

Par des calculs semblables, on trouve que l'effet utile de 1 kilog. de houille employée au séchage par l'air à différentes températures, correspond aux nombres suivants :

A $30^{\circ}$ .....	$6^{\text{k}}, 31.$
$40^{\circ}$ .....	$6^{\text{k}}, 80.$
$50^{\circ}$ .....	$7^{\text{k}}, 12.$
$60^{\circ}$ .....	$7^{\text{k}}, 76.$
$70^{\circ}$ .....	$8^{\text{k}}, 19.$
$80^{\circ}$ .....	$8^{\text{k}}, 43.$

1272. Ainsi, comme nous l'avons annoncé, l'effet utile du combustible employé au séchage par l'air chaud augmente avec la température de l'air à la sortie du séchoir; c'est ce qui résulte nécessairement de ce que la capacité de saturation de l'air chaud croît beaucoup plus rapidement que sa température.

1273. Les calculs précédents supposent l'air à zéro et parfaitement sec : ils ont été faits principalement pour faire voir qu'il est avantageux d'employer l'air chaud à une température élevée. Il nous reste à faire

connaître la manière de calculer le volume d'air chaud, sa température à l'entrée du séchoir et la dépense de combustible dans le cas où l'air extérieur n'est pas à zéro et se trouve déjà chargé d'humidité.

1274. Pour fixer les idées, nous prendrons un exemple particulier : nous supposons qu'il s'agisse d'évaporer 25 kilog. d'eau par heure, et que la température de l'air saturé à la sortie du séchoir soit de 30°, l'air extérieur étant à 15° et saturé.

Nous avons vu que 1 mètre cube d'air sec à 30° peut dissoudre à peu près 28 grammes d'eau (50), à la pression de 0<sup>m</sup>,76. Ainsi, pour dissoudre 25 kilog. de vapeur d'eau, il faudra  $25000 : 28 = 893$  mètres cubes, et comme nous supposons l'air extérieur saturé à 15°, chaque mètre cube en contenait déjà 13 ; en négligeant la dilatation de l'air de 15 à 30°, le volume d'air à 30 degrés nécessaire pour enlever les 25 kilog. d'eau en vapeur sera  $893 \times 28 : (28 - 13) = 1660$ .

Ce volume réduit à 0°,  $= 1660 : (1 + 0,00365 \times 30) = 1500$ , dont le poids  $= 1500 \times 1,3 = 1950$  kilog.

La quantité de chaleur fournie par l'air chaud en arrivant dans le séchoir pour se refroidir à 30°, doit produire l'évaporation de 25 kilog. d'eau ; par conséquent cette quantité de chaleur  $= 25 \times 650 = 16250$  unités de chaleur, qui peuvent élever 1950 kilog. d'air, d'un nombre de degrés égal à  $\frac{16250 \times 4}{1950} = 33,33$  ou à peu près 34°. Ainsi la température de l'air chaud, en entrant dans le séchoir, devra être de  $30 + 34 = 64$ °.

1275. Quant à la quantité de chaleur que l'on doit faire passer dans l'air avant son introduction dans le séchoir, on peut la calculer de deux manières : 1° d'après la température de l'air à l'entrée dans le séchoir : elle est  $1950 \times (64 - 15) : 4 = 23887$  ; 2° d'après la température de l'air à sa sortie du séchoir, et le poids de l'eau vaporisée : dans ce dernier cas, elle est égale à  $1950 \times 15 : 4 + 25 \times 650 = 23562$ . La différence provient de ce que le nombre 64 est un peu trop grand, parce que j'ai voulu éviter les fractions.

1276. Il est facile, d'après cela, de déduire la quantité de combustible qu'il faut consommer par heure, puisqu'on doit faire passer dans l'air à peu près 24000 unités de chaleur. Si l'air chaud est celui qui a alimenté la combustion, on obtiendra la quantité de combustible nécessaire en divisant 24000 par la puissance calorifique d'un kilogramme de com-



bustible; et, dans le cas contraire, il faudra prendre les 0,80 de cette quantité, car le chauffage indirect de l'air fait perdre ordinairement 0,20 de la chaleur dégagée dans le foyer.

1277. *Détermination de la section de la cheminée d'écoulement de l'air saturé de vapeur.* Cette détermination ne peut pas s'effectuer exactement, car il faudrait faire intervenir les frottements de l'air dans les canaux formés par les corps humides, et ces frottements dépendent non-seulement de la forme des canaux, mais encore du coefficient de frottement de l'air contre les surfaces humides, coefficient inconnu. D'ailleurs ces frottements varient nécessairement et avec la disposition des corps dans le séchoir, et avec les progrès du séchage. Enfin il peut arriver que l'air, à sa sortie du séchoir, soit chargé de vapeurs à l'état vésiculaire, et par conséquent que sa densité soit plus grande que celle de l'air seulement saturé. Cependant comme, en général, la vitesse de l'air dans les séchoirs est très-petite, on peut obtenir, dans un grand nombre de cas, une approximation suffisante de la section de la cheminée d'évaporation, en négligeant les frottements de l'air dans le séchoir et dans le calorifère, résistances qu'on peut regarder comme compensées au moins par la force ascensionnelle de l'air chaud ou dans le calorifère, ou du calorifère au séchoir, et en considérant le mouvement comme produit par la force ascensionnelle de l'air dans la cheminée, air qu'on supposera sec, la diminution de densité due à la présence de la vapeur d'eau étant supposée compensée par la vapeur à l'état vésiculaire. Le diamètre de la cheminée sera alors donné par la formule (1) (404), dans laquelle on fera  $R=0$ , et  $L=H$ , et par la formule  $A=vD^2$ , qui donnent

$$D^5 = \frac{A^2(D + 0,05H)}{2gP},$$

équation dont on déterminera la valeur de  $D$  par approximation, comme nous l'avons indiqué (406).

1278. Par exemple, dans le cas particulier que nous avons examiné précédemment (1274), en supposant  $H=15^m$ , on a  $A=1660:3600=0,46$ ; et  $2gP=19,62 \times 15 \times 0,00365 \times 30=32,07$ , la formule précédente devient

$$D^5 = \frac{0,21}{32,07}(D + 0,75) = 0,0065(D + 0,75),$$

et on trouve  $D=0,36$ , et, pour la section de la cheminée, à peu près

0<sup>m</sup>,13. Il serait utile de donner à la cheminée une plus grande section, et de garnir son extrémité d'un appareil destiné à préserver le tirage de l'influence des vents.

Le mode de calcul que nous venons d'indiquer suppose nécessairement que la vitesse de l'air dans le séchoir est très-petite. S'il n'en était pas ainsi, il serait impossible de déterminer même approximativement la section de la cheminée ; il faudrait alors calculer une section minimum, en négligeant les frottements dans le séchoir, et prendre une section beaucoup plus grande, sauf à régler le tirage par un registre.

Si la vitesse de l'air dans le séchoir était très-petite, mais si la force ascensionnelle de l'air dans le calorifère était très-grande, la section de la cheminée d'appel calculée comme nous l'avons dit, serait évidemment trop grande ; mais on obvierait à son excès de tirage par l'abaissement du registre.

Au surplus, il faut bien remarquer que l'effet à produire dans un temps donné dans les séchoirs est une condition qui n'est jamais bien rigoureuse, et qu'une section un peu trop petite de la cheminée d'appel n'aurait d'autre influence que de diminuer le travail produit. Cependant, s'il était important d'atteindre une certaine limite d'effet, et même de l'augmenter dans certains cas, il serait bon de multiplier les cheminées d'appel et d'en faire fonctionner le nombre convenable.

1279. Examinons maintenant les dispositions les plus convenables de l'appareil à chauffer l'air du séchoir proprement dit et de la cheminée d'appel.

L'appareil destiné à chauffer l'air varie beaucoup dans sa disposition, suivant que l'on fait passer dans le séchoir l'air qui a servi à la combustion, ou de l'air qui a reçu par transmission une partie de la chaleur développée dans le foyer.

Dans le premier cas, l'appareil se compose seulement d'un foyer, et il faut employer des houilles sèches qui ne produisent pas de fumée, du coke ou du charbon de bois. A la rigueur on pourrait employer un combustible quelconque, si on pouvait parvenir à brûler complètement la fumée ; mais, comme nous l'avons vu, tous les appareils qu'on a imaginés jusqu'ici ne la font pas disparaître complètement, et les inconvénients de la fumée dans un séchoir sont trop grands et pourraient occasionner des pertes trop considérables, pour que l'on pût employer



des foyers fumivores dont l'effet dépend toujours de l'ouvrier qui dirige le feu. L'emploi de l'air brûlé, même entièrement dépouillé de fumée, présente d'ailleurs de grands inconvénients qui en restreignent l'emploi à un très-petit nombre de cas. Une partie des cendres est entraînée sur les objets à sécher, et la nature de l'air qui remplit le séchoir ne permet pas aux ouvriers de s'y introduire.

L'air est ordinairement échauffé sans qu'on lui fasse subir aucune altération, et on emploie pour cela des calorifères à air chaud, à vapeur, ou à eau chaude, sur lesquels nous donnerons dans le chapitre suivant tous les détails nécessaires.

1280. *Dispositions du séchoir.* Examinons maintenant les dispositions du séchoir. Le séchoir est une vaste chambre, n'ayant d'autres issues que les ouvertures par lesquelles arrive le courant d'air chaud, et celles qui laissent écouler dans l'atmosphère l'air saturé d'humidité. Il doit cependant avoir des portes pour le passage des ouvriers et l'introduction des matières à dessécher, et des fenêtres pour éclairer le travail qu'on y fait à la fin de chaque opération; mais ces ouvertures doivent être peu nombreuses, et fermées pendant le séchage. Les parois de la chambre doivent être en matière peu conductrice de la chaleur, afin que le refroidissement occasionné par l'air soit le plus petit possible. Les murs peuvent être en maçonnerie ordinaire, ou en bois et en plâtre.

1281. L'étendue du séchoir doit être suffisante pour que l'air à sa sortie soit complètement saturé; des dimensions plus considérables n'augmenteraient pas le travail, seulement on pourrait mettre plus de matières dans le séchoir, mais chaque opération serait plus longue.

1282. La disposition des objets à sécher, et le mode de distribution de l'air chaud, ont plus d'influence sur la saturation de l'air que les dimensions mêmes du séchoir; car la saturation de l'air dépend uniquement de l'étendue des surfaces humides qu'il est obligé de parcourir avant de sortir. Un très-grand séchoir dans lequel les matières humides seraient mal disposées, pourrait laisser échapper de l'air très-chaud et peu saturé, tandis qu'un séchoir beaucoup plus petit, où l'air serait obligé de circuler sur une grande étendue de surfaces humides, ne laisserait dégager que de l'air complètement saturé.

1283. Nous avons dit précédemment que les séchoirs à air libre doivent avoir une grande élévation, attendu que l'air est souvent plus

agité à une certaine hauteur qu'à la surface même du sol, et qu'il y est toujours plus sec. Il n'en est point ainsi des séchoirs à courants d'air chaud, car leur élévation ne peut avoir aucune influence sur l'effet produit; une hauteur de 2<sup>m</sup>,50 à 3 mètres suffit, et c'est la dimension la plus commode pour le travail.

1284. Les conditions les plus importantes à remplir sont : 1° de ne faire sortir du séchoir que de l'air complètement saturé; 2° de ne pas laisser séjourner dans certaines parties du séchoir de l'air sur-saturé; car, si la première condition n'était pas remplie, il y aurait beaucoup de perte de chaleur, et la stagnation de l'air dans certaines parties du séchoir empêcherait la dessiccation des matières qui y seraient placées, et même, dans certaines circonstances, pourrait nuire à leur qualité. Pour satisfaire à ces deux conditions, il faut que la matière à sécher présente une surface uniformément distribuée dans toute l'étendue du séchoir, et que les ouvertures d'accès et de sortie de l'air chaud soient convenablement placées.

1285. Ordinairement on fait arriver l'air chaud par le bas du séchoir, et on le fait sortir par le haut; cette disposition du tuyau d'écoulement est très-vicieuse, parce que l'air chaud, à son entrée dans le séchoir, étant à une température plus élevée que celui qui s'y trouve, gagne rapidement, et sans s'étendre beaucoup, le haut du séchoir, d'où il est de suite porté à l'extérieur avant d'être saturé; et si les orifices d'entrée de l'air chaud ne sont pas très-multipliés et uniformément répartis sur le sol, certaines parties de l'air du séchoir restent immobiles, se refroidissent, et laissent précipiter de la vapeur sous la forme de vésicules qui le rendent plus pesant que l'air seulement saturé à la même température. Ainsi, dans ce cas, l'air chaud qui arrive dans le séchoir gagne par le plus court chemin le canal de sortie, s'échappe sans être saturé, et l'air qui n'est point dans cette direction se sur-sature, devient plus pesant que l'air atmosphérique et reste en place. Ces inconvénients peuvent être complètement évités en faisant sortir les vapeurs du séchoir par des ouvertures pratiquées au niveau du sol, et communiquant avec des cheminées suffisamment élevées.

J'ai eu plusieurs fois l'occasion de reconnaître la grande différence qui existe entre les effets produits par des séchoirs dans lesquels le canal d'évacuation des vapeurs est placé à la partie supérieure ou à

la partie inférieure. En 1822, M. Ternaux a constaté ce fait dans un séchoir qu'il avait fait construire à Saint-Ouen pour dessécher des vermicelles de pomme de terre. Le séchoir était établi au premier étage dans une chambre de 180 mètres cubes de capacité, et échauffée à 30 ou 40 degrés par un calorifère de Désarnod placé au rez-de-chaussée. Ce séchoir avait primitivement des ouvertures pratiquées à la partie supérieure; M. Ternaux ayant reconnu que la dessiccation s'opérait trop lentement, remplaça les premières issues par neuf nouvelles pratiquées au niveau du carrelage, et communiquant avec des canaux qui s'élevaient au-dessus des toits; il obtint les résultats suivants, qui sont des termes moyens de cinq expériences :

SORTIE DONNÉE AUX VAPEURS.	VERMICELLE OBTENU.		
	1 <sup>re</sup> QUALITÉ.	2 <sup>e</sup> QUALITÉ.	FERMENTÉ.
Par le bas.....	247,040	18,01	2,04
Par le haut.....	144,075	65,17	39,04

et la consommation de combustible a toujours été beaucoup plus grande dans le second cas que dans le premier.

Ainsi nous admettrons comme une condition d'une grande importance, que l'issue des vapeurs soit toujours pratiquée au niveau du sol du séchoir. Cette circonstance, qui s'oppose à la stagnation de l'air dans certaines parties du séchoir, est en même temps très-favorable à la saturation de l'air chaud; car l'air chaud se meut rapidement quand il s'élève dans un milieu plus dense, et il chemine lentement et se distribue uniformément quand il marche de haut en bas.

1286. La distribution de l'air chaud dans le séchoir, et la disposition des objets à sécher, peuvent se faire d'un grand nombre de manières différentes, qui dépendent principalement de la nature des substances à sécher.

1287. Supposons, par exemple, que les substances à sécher soient des fils de coton, de lin ou de chanvre en écheveaux, ou des objets de bonneterie; le séchoir devrait être étroit et très-allongé, ces objets se-



raient suspendus à des cordes ou des châssis placés perpendiculairement à la longueur de la chambre, l'air chaud devrait être distribué par plusieurs ouvertures pratiquées sur une des petites faces de la chambre, et la cheminée, placée à l'autre extrémité, s'ouvrirait près de la surface du sol.

1288. On voit que, par cet arrangement, l'air parcourra toute la longueur de la chambre en passant à travers un grand nombre de surfaces humides très-rapprochées, et qu'au commencement du séchage il arrivera nécessairement saturé à l'orifice de la cheminée; mais lorsque la dessiccation aura fait des progrès, l'évaporation de l'eau se fera plus difficilement, et on atteindra nécessairement une époque à laquelle la dessiccation ne sera pas complète, et où l'air s'échappera sans être saturé.

1289. On peut obvier à cet inconvénient, qui occasionnerait une grande perte de chaleur, par une disposition très-simple. Si l'on remarque que l'air chaud chemine dans le sens de la longueur de la chambre, on verra que les progrès de la dessiccation ne seront pas uniformes, et que les matières placées vers le côté de la chambre où arrive l'air chaud seront séchées les premières; ainsi, non-seulement, à mesure que l'opération fait des progrès, la dessiccation devient plus difficile, mais l'étendue des surfaces humides que l'air traverse va en diminuant; ces deux causes se réunissent pour s'opposer à la saturation complète de l'air. Mais si, quand la dessiccation est complètement terminée sur la première moitié du séchoir, on enlève ces matières pour les remplacer par de nouvelles matières humides, et si on fait en même temps arriver le courant d'air chaud en sens contraire, les matières qui avaient éprouvé un commencement de dessiccation se dessècheront plus vite que si rien n'avait été changé, et l'air chaud pourra se saturer complètement en passant à travers les nouvelles surfaces humides. Il est facile de remplir ces deux conditions en construisant aux deux extrémités de la chambre des cheminées que l'on pourrait ouvrir ou fermer à volonté, et en conduisant l'air chaud à chaque extrémité par des tuyaux qui pourraient de même rester ouverts ou fermés; pour éviter une perte trop grande de chaleur, on ferait passer le tuyau dans l'intérieur du séchoir.

1290. Si les matières à sécher avaient une très-grande étendue, comme, par exemple, des tissus, on ne pourrait pas les placer perpen-



diculairement à la direction du courant d'air, la circulation de l'air se ferait mal. Il faudrait alors disposer les barres de suspension dans le sens de la longueur de la chambre, et placer les pièces de manière à ce qu'elles fissent plusieurs circuits; toutes les autres dispositions resteraient les mêmes.

1291. *Dispositions des cheminées d'évaporation.* Ces cheminées peuvent être en planches, ou en plâtre, ou en maçonnerie légère. Il est toujours avantageux d'en avoir plusieurs pour rendre le mouvement de l'air plus uniforme dans toute l'étendue du séchoir. Nous avons vu qu'il faut toujours les faire partir du sol du séchoir.

1292. Le tirage étant toujours extrêmement faible est très-sujet à être contrarié par les vents. On obvie en partie à cet inconvénient en donnant beaucoup de largeur à la cheminée et en la rétrécissant par le sommet; la vitesse de sortie est alors beaucoup augmentée, et quand le diamètre de la cheminée est trois ou quatre fois plus grand que celui de l'orifice d'écoulement, on peut presque la considérer comme égale à la vitesse théorique. Cette disposition s'effectue d'autant plus facilement que l'on multiplie davantage le nombre des cheminées, parce qu'alors chacune d'elles n'a qu'un petit diamètre.

1293. Mais cela n'est pas encore suffisant; il faut toujours garnir les sommets des cheminées de chapeaux qui s'opposent à l'action du vent, ou mieux encore d'appareils tournants qui utilisent la force du vent et le font concourir à augmenter le tirage.

1294. On peut activer le tirage du séchoir en faisant entrer dans la cheminée d'air chaud la fumée du foyer; cette disposition serait très-facile à exécuter quand le séchoir n'a qu'une seule cheminée, mais elle serait un peu compliquée quand il y en a plusieurs. On aurait d'ailleurs à craindre de graves accidents, car le tirage serait encore faible relativement à certains vents, et il pourrait arriver que la fumée fût refoulée dans le séchoir. Cette disposition serait donc très-dangereuse, lorsque les matières à sécher sont altérables par la fumée. On pourrait cependant utiliser une partie de la chaleur de la fumée pour augmenter le tirage, en construisant en tôle la cheminée du foyer et la plaçant dans celle du séchoir, ou par toute autre disposition analogue.

1295. *Chauffage intérieur.* Dans ce qui précède, nous avons toujours supposé que l'air était échauffé avant d'être admis dans le séchoir. Mais on peut aussi chauffer l'air dans le séchoir lui-même. Cette méthode

me paraît moins bonne que la précédente, lorsque la ventilation est continue, parce qu'il est difficile que la chaleur se distribue uniformément, à moins que l'on ne fasse arriver l'air froid, d'abord autour des tuyaux à vapeur ou à air chaud, au moyen d'un canal qui les enveloppe; mais cette disposition serait trop compliquée.

1296. Le chauffage intérieur de l'air des séchoirs, sans ventilation continue, est très-fréquemment employé. Il s'effectue alors soit par des tuyaux à vapeur, soit par des conduits à fumée libres. Les tuyaux de chaleur qui circulent autour du séchoir sont à une petite distance du sol, et le séchoir n'a point de cheminée, ni d'ouverture pour l'introduction de l'air. D'abord on ferme exactement les croisées, et quand on s'aperçoit que l'air est saturé, par la vapeur qui se condense contre les vitres, on les ouvre, l'air saturé sort et se trouve bientôt remplacé par de l'air neuf. Alors on ferme les fenêtres pour les ouvrir de nouveau quand on reconnaît, au même caractère, que l'air est saturé. Ainsi, dans cette méthode, la ventilation est intermittente.

Cette méthode est évidemment préférable à la ventilation continue, lorsque l'on chauffe intérieurement la chambre et que l'air froid ne s'échauffe pas en passant immédiatement sur les tuyaux de chaleur; dans le cas contraire elle est moins avantageuse sous le rapport de l'économie du combustible. En effet, quand on renouvelle l'air chaud saturé, l'air froid qui pénètre dans la chambre doit condenser une partie des vapeurs qui retombent sur les matières qui les avaient fournies; pendant le renouvellement de l'air, une partie de celui qui a pénétré doit s'échapper après s'être échauffé, et sans être saturé; et enfin la dessiccation ne se faisant pas méthodiquement, il est impossible de dessécher complètement les matières sans laisser échapper, à la fin de l'opération, beaucoup d'air non saturé.

1297. Cependant, comme cette méthode est très-simple, qu'elle n'a point l'inconvénient des appareils à air chauffés extérieurement et à ventilation continue, d'exiger certaines précautions pour que le tirage ne soit pas influencé par les vents, elle est souvent employée, surtout avec des calorifères à vapeur, qui ne permettent jamais à l'air d'atteindre une température supérieure à 100°.

1298. On n'a eu longtemps que des idées très-fausSES sur le séchage par la chaleur. On se figurait que la chaleur seule suffisait, et que le renouvellement de l'air était inutile. D'après cela les séchoirs étaient



exactement fermés, et on les échauffait par des tuyaux métalliques, dans lesquels on faisait circuler de l'air chaud ou de la vapeur. Alors il fallait des séchoirs d'une grande capacité, et on devait élever beaucoup la température de l'air pour qu'il pût tenir en dissolution toute la vapeur formée par l'eau qui mouillait les matières à dessécher; et d'ailleurs quand la température que devait atteindre l'air était limitée, une fois que l'air était saturé et que sa température devenait constante, l'évaporation cessait complètement, et les matières pouvaient rester indifféremment dans le même état.

Il paraît que dans plusieurs ateliers la ventilation ayant été établie par un accident tel que la rupture d'une vitre, on reconnut que la dessiccation était plus prompte, et qu'il était avantageux d'avoir une ventilation continue ou seulement intermittente.

1299. Les étuves des raffineries de sucre, qui ont pour objet de dessécher les pains, sont encore disposées d'une manière très-défectueuse, non-seulement sous le rapport de l'économie du combustible et de la ventilation, mais encore sous celui des chances d'incendie.

1300. Les étuves à sucre sont ordinairement des pièces carrées ayant une grande hauteur, et garnies dans toute leur étendue d'étagères à claire-voie sur lesquelles les pains de sucre sont placés en sortant des formes. A la partie inférieure se trouve un foyer surmonté d'un dôme en fonte; l'ouverture du foyer est en dehors ainsi que la cheminée, qui est ordinairement en briques; le dôme en fonte, qui n'a jamais qu'une petite étendue, rougit, et échauffe l'air du séchoir. On conçoit d'après cette disposition qu'il doit y avoir une énorme quantité de chaleur perdue, parce que la surface de chauffe est souvent dix fois plus petite que celle qui serait nécessaire; aussi l'air qui se dégage du foyer est à une température très-élevée. Si on construisait la cheminée en fonte et si on la plaçait dans l'intérieur du séchoir, on obtiendrait beaucoup plus d'effet; mais dans la plupart des raffineries que j'ai visitées, les cheminées sont en briques et à l'extérieur, comme si l'on craignait de profiter de la chaleur de la fumée. De plus on a soin de fermer toutes les issues inférieures, et la ventilation n'a lieu que par les joints des portes, et presque malgré le fabricant.

Cette disposition est en outre très-dangereuse, parce que la chute d'un pain sur la pièce de fonte incandescente peut occasionner l'incendie

de l'établissement; c'est ce qui est arrivé plusieurs fois. A la vérité, dans quelques raffineries, on couvre par une voûte en briques la chaudière de fonte renversée qui répand la chaleur dans l'étuve; mais alors on empêche l'air de circuler librement sur la surface de chauffe, et on diminue beaucoup son rayonnement.

On évite complètement ces accidents et on économise beaucoup de temps et de combustible, en échauffant l'air extérieurement par des calorifères à air ou à vapeur, ou en le chauffant intérieurement par la vapeur, comme on commence à le faire dans quelques raffineries.

1301. Après avoir ainsi examiné les principes d'après lesquels toutes les parties des séchoirs doivent être combinées, nous donnerons quelques exemples des dispositions les plus convenables ou le plus fréquemment employées.

La figure 2 (pl. 57) représente un séchoir employé dans les fabriques de toiles peintes. Ce séchoir consiste en une tour carrée assez élevée, et terminée supérieurement par une galerie en saillie; lorsque le temps est favorable, les étoffes sont suspendues à l'air libre au moyen de la galerie, et dans les temps pluvieux et humides elles sont séchées intérieurement par des courants d'air chaud dirigés de bas en haut. Cette disposition est peu convenable, du moins pour le séchage intérieur; car, comme nous l'avons déjà dit, une grande partie de l'air chaud doit se dégager à la partie supérieure sans être saturé.

Les séchoirs dont il est ici question sont très-répandus en Alsace. Voici les résultats de plusieurs expériences faites à Mulhausen, en 1839, qui feront voir le peu d'effet utile qu'on obtient dans ces appareils :

D'après deux expériences faites par M. Penot sur deux séchoirs différents, on a obtenu dans l'un 1<sup>k</sup>,36 de vapeur d'eau par kilogramme de houille, et dans l'autre seulement 1<sup>k</sup>,02. Dans ce dernier, les murs étaient minces et percés d'un grand nombre de fenêtres, et la température n'a pas pu être portée au delà de 30°.

D'autres expériences faites par le même physicien, en fermant les soupiraux qui se trouvent à la partie supérieure du séchoir, ont donné les résultats suivants :

Le premier séchoir avait 2983 mètres de capacité et une hauteur de 9<sup>m</sup>,6; il était garni de trois soupiraux ayant chacun 1<sup>m</sup>,6 de surface. A 1 heure, on introduisit dans le séchoir des toiles qui renfermaient 1050



kilog. d'eau; de 1 heure à 5 heures  $\frac{3}{4}$ , la température intérieure a augmenté progressivement de 23° à 60°, et l'hygromètre a constamment diminué de 75° à 30°. Pour obtenir une dessiccation complète des toiles, on a brûlé 625 kilog. de houille; ainsi 1 kilog. de houille a évaporé 1<sup>k</sup>,68 d'eau. Le séchoir n'était pas complètement fermé. Une autre expérience faite dans des conditions plus favorables, a donné 2<sup>k</sup>,86.

Dans toutes ces expériences, les opérations n'ont cessé que quand les toiles ont été toutes parfaitement sèches. Mais en opérant d'une manière continue, c'est-à-dire en enlevant successivement les toiles sèches pour les remplacer par des toiles humides, on obtient de meilleurs résultats.

D'après M. Royer, dans un étendage ayant 9<sup>m</sup>,68 de longueur, 8<sup>m</sup>,2 de largeur, 19<sup>m</sup>,28 de hauteur, dont la surface de chauffe du calorifère était de 70<sup>m</sup>,5 pour une consommation moyenne de 25 kilog. de houille à l'heure, et dans lequel la température moyenne de l'air a toujours été comprise entre 30 et 50°, trois expériences, qui ont duré chacune quinze jours, ont donné pour effet utile moyen 2<sup>k</sup>,37, 2<sup>k</sup>,53, et 2<sup>k</sup>,18 d'eau évaporée par chaque kilog. de houille.

Ces dispositions de séchoirs sont très-mauvaises, et par la trop grande étendue des surfaces extérieures, et surtout par le mode d'évacuation de l'air. On obtient de bien meilleurs résultats dans des séchoirs peu élevés, très-longs, et à courants d'air continus. Ce dernier mode de séchage est déjà employé en Angleterre avec un grand avantage.

1302. Les figures 3 et 4 (pl. 57) représentent une disposition très-commode du foyer et de la cheminée d'appel pour de petits séchoirs. Le calorifère se compose uniquement d'un cylindre de tôle A, renfermant le foyer; la porte du foyer, celle du cendrier et celle d'appel de l'air sont extérieures. Le cylindre A est environné d'un autre cylindre en tôle, complètement ouvert en dessus, et qui communique par la partie inférieure avec la porte D. Le cylindre A se termine à la partie supérieure par un tuyau de tôle qui s'élève à une certaine hauteur, chemine ensuite horizontalement dans toute la longueur du séchoir, s'élève alors verticalement et sort du bâtiment. Cette dernière partie du tuyau est environnée d'un tuyau d'un plus grand diamètre FG, fermé inférieurement, et qui reçoit deux autres tuyaux H et I qui descendent jusqu'à une petite distance du sol, où ils sont complètement ouverts. Au-dessus des toits, les tuyaux sont terminés, à des hauteurs différentes,

par des calottes sphériques, pour éviter l'action des vents (fig. 5, pl. 57), ou, ce qui vaut mieux, le tuyau à fumée est surmonté d'un cône mobile autour de son sommet, et la cheminée d'appel d'une mitre de Millet (fig. 6, pl. 57) (495).

La disposition du tuyau à fumée et de son enveloppe est peu favorable à l'échauffement de l'air, parce que la couche d'air suit le tuyau et ne le quitte pas; mais, en général, le tuyau qui traverse le séchoir est assez long pour que la fumée n'arrive à son extrémité qu'à une température seulement suffisante pour le tirage. Cependant, si la fumée était abandonnée à une très-haute température, on pourrait échauffer davantage l'air par un grand nombre de dispositions différentes. Il suffirait de placer entre les deux tuyaux plusieurs petits moulinets très-mobiles qui agiteraient l'air dans la cheminée d'appel, ou d'adapter contre le tuyau à fumée des petites plaques inclinées, disposées de manière à rejeter contre la surface du tuyau enveloppant l'air qui aurait parcouru une certaine longueur du tuyau à fumée. On pourrait aussi augmenter la surface de chauffe en donnant au tuyau à fumée la direction d'une hélice, ou seulement des directions alternativement inclinées en sens contraires, ou en le divisant en plusieurs branches, ou enfin en insérant dans le tuyau à fumée des tubes inclinés à sa direction, qui rejetteraient l'air qu'ils auraient échauffé successivement sur tous les points de la circonférence.

Mais le moyen le plus efficace consisterait à mêler l'air du foyer avec l'air d'appel. Dans certains cas, ce mélange pourrait permettre l'introduction de la fumée dans le séchoir; mais cet accident qui, avec de bons appareils au-dessus de la cheminée, serait peu à craindre, ne présenterait aucun inconvénient si on brûlait dans le foyer du coke, ou des houilles sèches, comme celles de Fresnes et de Vieux-Condé, combustibles qui, dans certaines localités telles que Paris, ne coûtent pas plus cher que les houilles grasses.

1303. Les planches 58 et 59 représentent un séchoir à air libre et à air chaud avec tous les détails de la distribution de l'air chaud. La figure 1<sup>re</sup> (pl. 58) est une élévation du bâtiment; la figure 2 une coupe verticale dans le sens de la longueur; la figure 3 une coupe horizontale au-dessus du plancher du rez-de-chaussée; la figure 4 une coupe horizontale à travers les canaux de circulation de l'air chaud et de l'air brûlé, suivant



le plan XX', fig. 2 (pl. 59). La figure 1<sup>re</sup> (pl. 59) est une coupe transversale du bâtiment, et les figures 2, 3, 4 et 5 deux coupes verticales et deux coupes horizontales du calorifère.

Le bâtiment renferme deux étages. L'étage supérieur est fermé de tous côtés par des jalousies à palettes mobiles; le toit est ouvert à la partie supérieure, et l'ouverture est recouverte par un petit toit destiné à empêcher les eaux pluviales de pénétrer. Cette pièce est un séchoir à air libre, dont on se sert quand les circonstances atmosphériques sont favorables. L'étage inférieur est un séchoir à air chaud. Les appareils sont disposés de telle manière, que l'on peut à volonté faire arriver l'air chaud par une quelconque des deux extrémités du séchoir, et faire sortir l'air humide par l'autre, et dans tous les cas, la chaleur de l'air brûlé est employée à augmenter le tirage des cheminées d'appel.

A (fig. 2, pl. 58) est le calorifère. L'air chaud, au moyen des registres *b* et *b'* (fig. 4), peut s'écouler par B,C,C, ou B',C',C', et ensuite par les nombreux orifices E,E ou E',E', garnis de registres destinés à répartir uniformément l'air chaud dans toute la largeur du séchoir. L'air humide s'écoule à l'autre extrémité par une caisse horizontale G,G, percée d'un grand nombre d'orifices H,H; cette caisse communique avec la cheminée d'appel K. L'air brûlé, en sortant du calorifère, passe d'abord par les deux canaux I,I, et parcourt simultanément les tuyaux L, L pour gagner les cheminées N,N, qui se réunissent en une seule O, ou les tuyaux correspondants qui se trouvent de l'autre côté, pour gagner la cheminée O'. Les canaux horizontaux sont couverts de plaques de fonte; des registres convenablement placés permettent à l'air brûlé et à l'air chaud de suivre l'un des deux chemins qui les conduisent à chacune des extrémités du séchoir.

On voit que, par cet arrangement, toutes les circonstances favorables à l'économie du combustible sont réunies. Le calorifère seulement n'est pas très-bien disposé, car l'air brûlé doit monter simultanément par un grand nombre de tuyaux et il pourrait arriver que le mouvement n'eût pas lieu dans tous; il serait préférable de diriger d'abord l'air brûlé au point le plus élevé, de le faire descendre par les tuyaux de chauffe dans lesquels il se répandrait uniformément, et de le diriger ensuite dans les tuyaux qui doivent le conduire dans la cheminée. Cette modification serait facile à établir; mais comme l'air brûlé est refroidi dans les canaux

horizontaux qui se trouvent sur le sol du séchoir, elle n'est pas aussi nécessaire que si l'air brûlé gagnait immédiatement la cheminée.

On pourrait placer le calorifère à un des bouts du séchoir et n'avoir qu'une cheminée d'appel, tout en satisfaisant à la condition de faire arriver l'air chaud alternativement par chacune des extrémités, en faisant sortir l'air humide par l'autre. Il suffirait, pour cela, de placer dans le sol un canal garni d'un registre, au moyen duquel on conduirait l'air chaud tantôt à l'extrémité du séchoir la plus voisine du calorifère, tantôt à celle qui est la plus éloignée, et un canal semblable pour amener l'air des deux extrémités dans la cheminée d'appel. La figure 6 (pl. 59) est une coupe verticale du calorifère parallèle à la face du bâtiment sur lequel il est appuyé, et qui indique seulement les tuyaux d'écoulement de l'air chaud et de l'air brûlé. A, calorifère; B, B', tuyaux garnis de registres par lesquels l'air chaud pénètre dans le séchoir; C, C', tuyaux de retour de l'air humide; D, tuyau à fumée; E, cheminée d'appel.

1304. La figure 7 (pl. 57) représente la disposition d'un séchoir à air chaud chauffé intérieurement. Les tuyaux A, A' sont les conduits à fumée d'un foyer placé à l'étage inférieur au-dessous de l'extrémité du séchoir opposée à celle qui est vue en projection dans la figure; ils sont placés dans des caisses en bois ou en maçonnerie légère qui communiquent avec l'air extérieur par des orifices situés près de l'extrémité des tuyaux à fumée, et débouchent dans le séchoir par l'extrémité opposée, de sorte que l'air et la fumée marchent en sens contraire. Les tuyaux à fumée se réunissent à leur extrémité, et pénètrent dans la cheminée d'appel où l'air est introduit par des orifices *a, a, a* garnis de portes à coulisse que l'on maintient à des hauteurs convenables. Cette disposition est surtout applicable aux séchoirs dans lesquels l'air chaud doit être porté à une température très-élevée.

1305. Pour les toiles et les étoffes en général, les séchoirs peuvent être réduits à des caisses d'une petite étendue, dans lesquelles on fait circuler en sens contraire l'air chaud et la matière à sécher. La figure 8 (pl. 57) représente un appareil de cette espèce. ABCD est une caisse en bois garnie intérieurement d'un grand nombre de cloisons *ab, cd*, parallèles, également distantes, s'appuyant sur les deux faces de la caisse parallèle au plan de coupe de la figure, et alternativement sur les faces DC et AB. A chaque extrémité de ces cloisons se trouvent des rouleaux



très-mobiles. A la partie supérieure et dans l'axe de la caisse se trouvent deux autres rouleaux I et K, et deux autres R et S à la partie inférieure. La partie inférieure de la caisse est percée de deux ouvertures E et F, par lesquelles l'air chaud arrive dans la caisse, et la partie supérieure de deux ouvertures G et H qui communiquent avec la cheminée d'appel. Une toile sans fin passe sur tous les rouleaux, et on la fait marcher de manière qu'elle parcoure la caisse de haut en bas. Il est facile de voir, à l'inspection de la figure, que les orifices E et F donnent de l'air chaud, chacun sur une face de l'étoffe, et que si le courant d'air chaud et la vitesse de la toile sont convenables, la toile sortira complètement sèche. Le mouvement de l'air chaud peut être produit par un ventilateur aspirant ou soufflant, ou par une cheminée d'appel.

1306. L'appareil (fig. 9, pl. 57) est analogue à celui que nous venons de décrire, mais beaucoup plus simple. La cloison AB divise la caisse en deux parties; les orifices C et D amènent l'air chaud, et les orifices E et F permettent l'écoulement de l'air humide.

1307. La figure 10 (pl. 57) représente une coupe transversale d'un séchoir à draps. Ces séchoirs, qu'on désigne ordinairement sous le nom de Rames, doivent contenir de l'air à une température supérieure à 40°; ils renferment deux tuyaux à vapeur A, A', qui les parcourent dans toute leur longueur. Ces tuyaux sont enveloppés de planches, de manière que l'air échauffé autour d'eux puisse s'échapper par la partie supérieure. L'air froid arrive par des orifices nombreux B placés au-dessous des tuyaux. Les draps sont tendus sur des traverses horizontales D, D', qui laissent entre elles un intervalle de 10 centimètres environ; les pièces C, C' sont seulement suspendues aux traverses D, D'. L'air chaud s'élève contre les surfaces des quatre nappes de drap centrales, et descend contre les deux surfaces des nappes extrêmes pour gagner les orifices E uniformément distribués dans la longueur du Rame, et qui communiquent avec la cheminée d'appel.

1308. Les figures 1 et 2 (pl. 60) représentent une coupe verticale et le plan d'un séchoir à étoffes, construit par M. René Duvoir, chez MM. Gros et Davilliers, à Gisors.

Les pièces de calicot sont suspendues verticalement à des pièces de bois *a, a...* qui forment un plancher à claire-voie, sur lequel les ouvriers peuvent marcher pour aller étendre les pièces dans toutes les parties du

séchoir. Trois calorifères placés au-dessous du sol lancent l'air chaud à la température moyenne de  $120^{\circ}$  dans un canal en briques AA, d'où il s'échappe latéralement par un grand nombre d'ouvertures  $o, o, o, \dots$  fermées par des portes à coulisses qui permettent de le répartir également des deux côtés. L'air chaud s'élève d'abord, il est ensuite obligé de descendre pour gagner les orifices des cheminées d'évaporation, dont une partie se trouve au bas du séchoir et l'autre à moitié de sa hauteur. On n'ouvre ces dernières qu'au commencement de l'opération, et on les ferme ensuite complètement, afin que l'air soit obligé de descendre jusqu'à la surface du sol. Les cheminées qui se réunissent trois à trois, forment de chaque côté un seul corps qui s'élève au-dessus du toit.

Dans cet appareil on sèche en 6 heures, 150 pièces de calicot qui contiennent ordinairement 1130 kilogr. d'eau. La consommation de houille est de 4 hectolitres ou 320 kilogr., ce qui correspond à une évaporation de  $1130 : 320 = 3^{\text{a}}52$  par kilogramme de houille.

Le volume d'air lancé dans le séchoir est de 55,000 mètres cubes. La température extérieure étant de  $25^{\circ}$ , on a trouvé que la température de sortie à l'extrémité des cheminées était en moyenne de  $38^{\circ}$ . Il est facile de s'assurer par un calcul très-simple que l'air qui sort est loin d'être saturé; c'est ce qui doit arriver surtout à la fin des opérations, quand le séchage est sur le point d'être terminé; il y a alors une grande perte de chaleur.

1309. Une disposition qui rendrait le séchage plus régulier est représentée (pl. 60) par les figures 3 et 4, dont la première est une coupe verticale suivant la ligne brisée  $r s t u$ , et l'autre une coupe horizontale suivant  $v x y z$ .

Le séchoir est divisé en deux parties A et A' par une cloison BC qui s'élève jusqu'à la hauteur des poutres auxquelles on suspend les étoffes. Deux calorifères D et E sont placés sous une voûte construite au-dessous de la cloison BC. Chaque calorifère fournit de l'air chaud par de gros tuyaux munis de clefs, dans l'un ou dans l'autre séchoir. Les deux séchoirs A et A' sont construits de la même manière. L'air chaud arrive dans un canal en briques d'où il se répartit uniformément dans la pièce par des ouvertures circulaires de diamètres différents, percées dans des canaux en briques  $mn$  qui aboutissent au conduit général MN. D'autres canaux  $pq$ , construits également sous le plancher, communiquent avec les cheminées d'évaporation  $a, b, c, d$ ; des ouvertures carrées, de diamètres variables, servent à



l'appel de l'air saturé. Voici comment on devra conduire les opérations. On fera arriver l'air chaud dans le séchoir A, dont on fermera les cheminées d'évaporation en ouvrant celles du séchoir A'. L'air chaud montera dans le séchoir A, et descendra dans le séchoir A', pour s'échapper par les cheminées *a', b', c', d'*. Quand les pièces de la partie A seront sèches, on fera passer l'air chaud dans le séchoir A', dont on fermera les cheminées d'évaporation; on ouvrira celles du séchoir A, et on remplacera les pièces séchées par d'autres. L'air chaud suivra alors un mouvement inverse de celui qu'il avait précédemment, de manière à rencontrer d'abord des pièces en partie sèches et ensuite d'autres qui ne le sont pas. L'air pourra donc s'échapper complètement saturé, les calorifères chaufferont constamment, et le séchage marchera sans interruption, circonstances qui toutes diminueront notablement le prix du séchage.

1310. Dans beaucoup de cas on pourra profiter de la chaleur perdue des cheminées des chaudières à vapeur pour le séchage. Dans la blanchisserie de MM. Gros et Davilliers, à Gisors, M. René Duvoir a établi un appareil en fonte composé de tuyaux verticaux chauffés extérieurement par la circulation de la fumée à la sortie du fourneau d'un générateur. L'air en traversant les tuyaux s'échauffe et arrive dans le séchoir à une température moyenne de 100°. Le volume d'air fourni par l'appareil est de 3750 mètres cubes par heure. La température extérieure étant de 25°, la quantité de chaleur utilisée est  $3750 \times 1,25 \times 75 : 4 = 80000$  unités; ce qui correspond à une économie par heure de 20 kilog. de houille dans les calorifères. L'expérience a confirmé exactement ce résultat. Dans un séchoir qui exigeait avant 240 kilogr. de houille en 6 heures, pour le séchage des pièces de calicot qu'il contient, on ne consomme plus dans le même temps que 120 kilogr. pour produire le même effet. La consommation de houille des foyers des chaudières à vapeur est de 130 kilogr. par heure. Le calorifère refroidit la fumée de 400° à 200°.

1311. *Régulateur de température dans les séchoirs.* Lorsqu'il importe que la température de l'air dans un séchoir ou dans une étuve ne dépasse pas une certaine limite, on peut placer dans la pièce des appareils liés avec le registre de la cheminée du calorifère, et qui le ferment complètement quand la température de l'air a atteint la limite assignée. De tous les appareils qu'on pourrait employer, le plus sensible et le plus exact est celui de Sorel. Cet appareil, réduit à sa plus grande simplicité, se