

PARNICKE-CAMPAGNE

L'APPAREILLAGE MÉCANIQUE
DES
INDUSTRIES CHIMIQUES

H. DUNOD ET E. PINAT . ÉDITEURS

L'APPAREILLAGE MÉCANIQUE

DES

INDUSTRIES CHIMIQUES

L'APPAREILLAGE MÉCANIQUE

DES

INDUSTRIES CHIMIQUES

ADAPTATION FRANÇAISE DE L'OUVRAGE

DE

A. PARNICKE

Die Maschinellen Hilfsmittel der chemischen Technik

PAR

EM. CAMPAGNE

INGÉNIEUR CHIMISTE

PARIS (VI^e)

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

SUCCESSIONS DE V^o CH. DUNOD

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1906

Tous droits réservés.

INTRODUCTION

Le chimiste auquel se pose le problème de transporter un procédé du laboratoire à l'usine éprouve généralement des difficultés assez considérables. Les appareils industriels qui sont nécessaires pour adopter une méthode de travail, conçue et appliquée avec les appareils du laboratoire, aux traitements de quantités importantes, lui sont souvent peu familiers. Dans la généralité des cas, il est assez mal préparé à la solution de ces questions par ses études antérieures. Et, alors même que quelques années de pratique industrielle l'ont familiarisé avec les appareils du type le plus courant, il ne connaît qu'imparfaitement les ressources si variées que l'art du constructeur peut mettre à sa disposition.

Nous avons pensé qu'il serait utile de rassembler en un ouvrage les renseignements généraux concernant les appareils et le matériel spécial aux industries chimiques. Et cela d'autant plus qu'il n'existe pas en français d'ouvrage de ce genre et que ces données éparses dans les catalogues de constructeurs et les articles de revues techniques ne peuvent être réunies qu'au prix d'une grande perte de temps.

L'ouvrage que nous avons l'avantage de présenter au public

reproduit les dispositions principales de l'ouvrage publié en Allemagne par Parnicke et intitulé : *Die maschinellen Hilfsmittel der chemischen Industrie.*

L'ouvrage de Parnicke ne renfermant guère que des descriptions d'appareils de construction allemande n'était pas, sous cette forme, susceptible de trouver un accueil favorable auprès des lecteurs français. Nous nous sommes efforcés de leur substituer, toutes les fois que cela nous a été possible, des appareils similaires d'origine française. De plus, les appareils types de construction courante et dans le domaine public ont été décrits d'une façon impersonnelle, de manière à accroître la valeur technique de l'ouvrage.

Il est indéniable que le grand développement qu'ont pris les industries chimiques en Allemagne a conduit un grand nombre de constructeurs à se spécialiser dans la fabrication des appareils qui leur sont nécessaires. Comme conséquence, les ouvrages traitant des applications de la chimie contiennent très souvent des descriptions et des clichés d'appareils allemands. Lorsqu'il s'agit d'appareils spéciaux formant l'objet de brevets, il n'est pas d'objection à faire à cette tendance. Mais il n'en est plus de même lorsque les appareils sont d'un modèle courant et qu'ils peuvent être fournis dans d'aussi bonnes conditions par nos propres constructeurs. Nous espérons que l'un des avantages immédiats de cet ouvrage sera de réagir contre cette tendance et de porter à la connaissance des intéressés les productions de notre propre industrie.

EM. CAMPAGNE.

L'APPAREILLAGE MÉCANIQUE

DES

INDUSTRIES CHIMIQUES

GÉNÉRALITÉS

Il existe de nombreuses usines dans lesquelles le chimiste n'est pas secondé par un ingénieur et dans lesquelles il a la charge de maintenir l'installation en bon état de fonctionnement. Dans ce cas, il lui est indispensable de pouvoir se passer, à l'occasion, de l'aide d'un contre-maitre ou d'un mécanicien, et il doit pour cela bien connaître les différents éléments des appareils dont il a la direction et savoir remédier aux irrégularités de fonctionnement susceptibles de se manifester chaque jour.

Les réservoirs les tuyauteries et leurs accessoires se retrouvent dans toutes les installations. Aussi dirons-nous d'abord quelques mots de ces différents éléments essentiels.

RÉSERVOIRS

Les réservoirs servant à emmagasiner des liquides se construisent en matériaux très différents suivant les propriétés chimiques des liquides qu'ils doivent contenir : tôle noire, galvanisée, plombée, cuivre, grès, ciment armé, bois, etc.

Le mode de construction est approprié au caractère de la matière dont ils sont formés. Les réservoirs en tôle servant à contenir de l'eau ou des liquides neutres sont généralement goudronnés pour les préserver de la rouille. On leur donne une forme rectangulaire ou cylindrique, et ils sont formés par l'assemblage de feuilles de tôle rivées à chaud. Ce rivetage doit être fait soigneusement pour obtenir une étanchéité parfaite.

La forme cylindrique est généralement préférée lorsque le réservoir doit être surélevé en le plaçant sur un pylône en fer ; le fond est bombé vers l'intérieur et en tôle plus épaisse que les parois latérales.

Le tableau suivant (p. 3) donne les dimensions courantes adoptées et le poids des réservoirs en tôle. Le prix s'établit en raison de ce poids ; il varie entre 75 et 60 francs par 100 kilogrammes, suivant la capacité et l'épaisseur des tôles

Ces réservoirs se font jusqu'à 300.000 litres de capacité.

Lorsqu'ils sont destinés, à la conservation de liquides volatils : alcool, essence, pétrole, etc., on les munit d'un couvercle. Les accessoires sont généralement : un tube de niveau avec graduation, un robinet de vidange, un tampon de remplissage et un robinet d'air.

Les réservoirs en cuivre ou en étain ne présentent pas de particularités remarquables. Ils sont naturellement sensiblement plus coûteux que les réservoirs en tôle de fer.

Les réservoirs en grès cérame sont cylindriques dès qu'ils présentent une capacité un peu considérable ; on les construit en une seule pièce jusqu'à 6.000 litres de capacité. Mais les difficultés de transport rendent plus avantageuse l'adoption de réservoirs composés de plusieurs anneaux cylindriques superposés et assemblés d'après le système Hoffmann et Krüger. Les différents anneaux constituant les parois latérales du récipient sont revêtus d'une enveloppe en tôle qui ne touche pas directement les parois extérieures du vase en grès ; elle laisse tout autour un espace libre dans lequel on peut couler un mastic résistant aux acides et à la chaleur, mais ne se dilatant pas. Les anneaux en grès et l'enveloppe en tôle sont maintenus concentriques au moyen de cales en bois.

L'anneau supérieur en grès est renforcé et maintenu dans le sens

TABLEAU DES POIDS APPROXIMATIFS ET DIMENSIONS DES RÉSERVOIRS

RÉSERVOIRS CILINDRIQUES				RÉSERVOIRS RECTANGULAIRES						
POIDS		DIMENSIONS		CONTENANCE		POIDS		DIMENSIONS		
En 3 millim.	En 4 millim.	En 5 millim.	Diamètre	Hauteur	En 3 millim.	En 4 millim.	En 5 millim.	Longueur.	Largueur.	Hauteur.
Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Mètres.	Mètres.	Kilogr.	Kilogr.	Kilogr.	Mètres.	Mètres.	Mètres.
35	"	"	0,400	0,800	100	45	"	0,500	0,400	0,500
55	"	"	0,570	0,800	200	65	"	0,750	0,550	0,500
75	"	"	0,620	1 "	300	85	"	0,800	0,600	0,650
100	"	"	0,800	1 "	500	120	"	1 "	0,500	1 "
130	"	"	0,940	1,200	800	165	"	1,500	0,550	1 "
155	"	"	0,940	1,500	1.000	185	"	1 "	1 "	1 "
220	270	"	1 "	2 "	1.500	250	"	1,500	0,800	1,300
260	305	"	1,300	1,500	2.000	320	"	2 "	1 "	1 "
300	335	"	1,300	2 "	2.500	370	"	2 "	1,300	1 "
335	405	"	1,400	2 "	3.000	420	"	3 "	1 "	1 "
400	480	"	1,600	2 "	4.000	455	"	3 "	1,300	1,500
495	585	"	1,800	2 "	5.000	560	"	610	1,350	1,500
750	910	"	2,400	2,960	10.000	620	"	700	1,700	2,500
785	960	"	2,550	2,560	12.000	1.100	"	1.320	1,500	3 "
925	1.125	"	2,550	2,960	15.000	1.340	"	1.620	2,500	3 "
1.000	1.200	"	2,960	2,560	18.000	1.655	"	1.750	2,550	2 "
"	1.400	1.700	2,600	3,850	20.000	1.700	"	1.910	2,100	2 "
"	1.490	1.780	3,300	2,960	25.000	2.000	"	2.350	2,550	2 "
"	1.740	2.105	3,600	2,960	30.000	2.400	"	2.950	2 "	3 "

vertical par un cercle en fer et des vis de pression ; le cercle repose sur le grès par l'intermédiaire d'une épaisseur de carton.

Ces mêmes récipients peuvent servir à porter à l'ébullition une grande quantité d'acide, en les chauffant au moyen d'un serpentín de vapeur ; dans ce cas, le fond est bombé.

Les réservoirs en maçonnerie sont les plus économiques de première installation ; ils doivent être très soigneusement cimentés pour être complètement étanches, car les fuites qui peuvent s'y manifester peuvent longtemps passer complètement inaperçues. On construit également des réservoirs en ciment armé, dans les parois desquels est noyée une armature en fer qui en accroît considérablement la résistance.

Cuves en bois. — Avant de quitter ce sujet, nous dirons quelques mots des cuves en bois, qui trouvent de nombreuses applications en teinture et en électrolyse.

Pour permettre une bonne utilisation de leur capacité, ces cuves doivent être rectangulaires. Elles sont formées par l'assemblage de madriers de forte épaisseur (50 à 75 millimètres), très exactement travaillés de façon à ce que les joints soient étanches sans interposition d'aucune matière. Ces madriers sont solidement assemblés au moyen de tiges en fer boulonnées à chacune de leurs extrémités. Lorsque les cuves sont restées longtemps à sec, les joints fuient. On y remédie en remplissant le bac d'eau pour permettre au bois de gonfler et de reprendre ses dimensions primitives ; si ce moyen ne suffisait pas, on y remédierait en serrant les boulons des tiges d'assemblage.

Ces cuves se construisent en sapin rouge, en pitchpin ou en chêne. Le tannin contenu dans ce dernier bois est très préjudiciable, toutes les fois que du fer est susceptible de se trouver simultanément en présence, car il donne naissance à une coloration noire intense. Dans des cas particuliers, les cuves sont doublées de feuilles de plomb réunies par soudure autogène ou de feuilles de gutta-percha ou d'une matière analogue. Rappelons que la gutta percha résiste bien à l'action des acides dilués, mais non à celle des alcalis et des cyanures, pas plus qu'à la chaleur. Dans le cas des cuves doublées de plomb employées pour les dépôts par voie électrolytique, on doit éviter soigneusement tout contact entre les électrodes et les parois métalliques.

Enfin, les cuves en tonnellerie sont à angles légèrement arrondis et assemblées au moyen de cercles qui permettent d'assurer le serrage des douves constituant les parois et, par suite, de les rendre étanches.

On emploie aussi des cuves et des bâches en fonte émaillée résistant à l'action des acides. Ces cuves se construisent jusqu'à des capacités de 1.200 litres.

CANALISATIONS

Les tuyauteries servant au transport des liquides ou des gaz se font en matières différentes suivant la nature des substances qui les traversent, leur quantité et leur plus ou moins grande valeur. On doit tenir compte, en outre, du caractère de l'installation. S'il s'agit d'une installation définitive, on doit prendre toutes les précautions nécessaires pour éviter toute perte de matières. Si l'installation n'est que provisoire, on sacrifiera les qualités accessoires à l'économie de première installation.

Les tubes de fer sont le meilleur marché et les plus employés, toutes les fois que les propriétés des fluides à transporter le permettent, que la canalisation est à peu près droite et qu'elle ne comporte pas trop de branchements.

On peut les préserver de la rouille en les goudronnant intérieurement et extérieurement, ou en les revêtant d'une couche d'asphalte. On emploie aussi parfois des tubes émaillés.

Les tuyaux en fonte grise ne se font pas au-dessous de 25 millimètres de diamètre; la fonte doit présenter une résistance à la traction d'au moins 12 kilogrammes par millimètre carré. Dans le calcul du nombre de tuyaux nécessaires à l'établissement d'une conduite de

longueur donnée, on doit tenir compte du recouvrement de deux tuyaux successifs. Ces tuyaux, ne pouvant pas être travaillés, sont assemblés au moyen de coudes également en fonte; on trouve dans le commerce un certain nombre de modèles types.

Les tubes en fer sont fabriqués sans soudure par le procédé Mannesmann ou par rapprochement des bords extrêmes d'une feuille de tôle rectangulaire. Ces bords sont assemblés par brasage, rivage ou soudure autogène. Ces tubes en fer présentent sur ceux en fonte l'avantage de pouvoir être travaillés et coudés à la demande. Leur assemblage se fait au moyen de collerettes rabattues à l'extrémité de chaque tube et assemblées au moyen de boulons, soit encore au moyen de manchons filetés dont le diamètre intérieur est exactement égal à leur diamètre extérieur.

Les tubes en cuivre sont très employés en raison de la grande ductilité du métal, ce qui permet de les travailler aisément et de leur donner les formes les plus compliquées. En outre, le cuivre étant très bon conducteur de la chaleur, il est avantageux pour la construction des serpentins. Il est à remarquer que, si les tubes en cuivre coûtent beaucoup plus cher que ceux en fer, ils présentent sur ceux-ci l'avantage de conserver toujours une valeur élevée, le cuivre vieux métal se vendant toujours bien, quel que soit son état. Cette même remarque s'applique aux tubes en plomb. Au contraire, les appareils et tuyauteries en fer construites en vue d'une application spéciale ont perdu presque toute valeur le jour où, pour une raison ou une autre, on renonce à les utiliser.

Les tubes en plomb sont particulièrement précieux en raison de la facilité avec laquelle on peut les souder, les couper, les élargir, les rétrécir, etc. En outre, le plomb est indifférent à l'action de très nombreux agents chimiques : acide sulfurique, chlore, etc. Pour réunir deux tubes de plomb bout à bout, il suffit d'y enfiler une rondelle en fer et de rabattre une collerette à chacune des extrémités à assembler et de réunir ensuite les rondelles par trois ou quatre boulons.

Cependant le peu de résistance du plomb ne permet pas de l'employer pour des conduites dans lesquelles doit régner une pression élevée. On se servira avantageusement des tubes de plomb à parois épaisses pour établir une prise de vapeur provisoire.

Si l'on tient compte de la différence de densité et de résistance, on voit que la même canalisation exécutée en plomb ou en cuivre revient à peu près au même prix.

Quand il est indispensable d'avoir recours au plomb, en raison de son indifférence chimique, et qu'il est nécessaire d'avoir une résistance élevée, on peut se servir de tuyaux en plomb antimonié ou de tubes de fer ou de cuivre recouverts d'une couche de plomb de plusieurs millimètres d'épaisseur.

Les tubes en étain sont très peu employés, si ce n'est pour les serpents d'appareils de distillation; ils sont six à sept fois plus coûteux que les tubes de plomb d'égal diamètre intérieur et de même résistance, mais présentent les mêmes commodités de travail.

Les tubes de verre ne sont guère employés que pour la construction des tubes de niveau et parfois des siphons. La transparence du verre est un avantage précieux en bien des cas; mais son emploi est limité par les difficultés que présente son travail et sa fragilité.

Les tubes en grès peuvent être émaillés extérieurement et intérieurement. Ils sont moins fragiles que les tubes en verre et peuvent se travailler si l'on opère avec précaution. Ils sont surtout employés pour les canalisations d'eaux résiduelles et celles d'acides. Lorsqu'ils sont placés dans le sol, on doit veiller à ce qu'ils soient protégés de toutes les causes qui pourraient amener leur rupture par écrasement.

ASSEMBLAGE DES TUBES

Le mode d'assemblage le plus simple consiste à réunir les deux extrémités des tubes au moyen d'un bout de tuyau de caoutchouc. Mais ce procédé ne peut être employé que dans des installations tout à fait provisoires ou lorsqu'il s'agit de conserver à chacun des tubes une certaine liberté de mouvement.

Les tubes de plomb sont soudés entre eux, opération très facile à effectuer et très rapide. Mais les canalisations un peu importantes sont uniquement obtenues par assemblage de tubes droits.

Les deux modes d'assemblage les plus usités sont les joints à manchons et les joints à brides.

Les joints à brides sont les plus employés dans les installations de l'industrie chimique, bien qu'ils soient plus coûteux que les joints à manchon. Ils présentent une grande résistance à la pression et permettent de changer rapidement une partie de tuyautage. Chacune des extrémités du tube porte une collerette rabattue et portent un certain nombre de trous pour le passage des boulons. On interpose entre les deux collerettes une substance formant joint (caoutchouc, amiante, etc.), et l'on réalise un assemblage hermétique en serrant modérément les boulons.

Les boulons de serrage sont au nombre de 3, 4 ou plus, suivant le diamètre des tuyaux à assembler. Les branchements se réunissent de la même façon à la conduite principale au moyen d'une tubulure en T ou de toute autre forme appropriée. À son extrémité, la canalisation est terminée par un disque de métal boulonné sur la dernière collerette libre.

Le joint à manchon est plus économique de premier établissement, mais il est difficile à démonter et ne résiste pas aussi sûrement que l'autre aux pressions internes. Il est formé par l'emboîtement des deux tubes, l'un étant élargi à son extrémité. L'intervalle existant entre les deux tubes est garni de ciment, de plomb, ou d'un mastic approprié. Parfois l'assemblage se fait à vis, le manchon étant fileté intérieurement et le tube extérieurement. Dans d'autres cas, les tubes sont filetés à chacune de leurs extrémités et le joint est effectué par un manchon fileté qui se visse mi-partie sur chacun des tubes à réunir.

CONFECTION DES JOINTS

Pour réunir les différents tubes d'une tuyauterie d'une façon hermétique, on interpose entre les parties métalliques qui doivent venir en contact une matière appropriée, carton, amiante, caoutchouc, fibre vulcanisée, plomb, etc. On fait encore souvent usage pour les joints fixes de filasse de chanvre imprégnée de céruse, de minium ou de graphite mélangé avec de l'huile de lin.

Les joints en carton sont avantageux en raison de leur bon marché, lorsqu'il est nécessaire de les renouveler souvent. Le carton d'amiante est très précieux, car il résiste bien à l'action de la chaleur et de la plupart des agents chimiques. Il en est de même des joints en caoutchouc avec interposition de toile ou de fils métalliques dans la masse. Pour des joints à demeure, on emploie souvent des rondelles de plomb, de cuivre ou d'aluminium.

Il est très important, quelle que soit la nature du joint adopté, de serrer également les différents boulons qui maintiennent les brides en place. Pour obtenir ce résultat, on les serrera deux par deux en choisissant chaque fois des boulons diamétralement opposés. Toute autre façon de procéder conduit inévitablement à un serrage irrégulier et donne, par suite, tôt ou tard naissance à des fuites. Lorsque les deux tubes ont pris leurs positions respectives, on fait passer la vapeur pour les chauffer, s'il y a lieu, et l'on resserre les écrous avec précaution et très graduellement jusqu'à obtention d'un joint parfait. Ces mêmes précautions doivent être observées toutes les fois que l'on doit faire un joint étanche, qu'il s'agisse d'un assemblage de deux tubes bout à bout ou de la mise en place d'une plaque de trou d'homme, d'un couvercle d'appareil, etc., etc.

Les joints de tubes à manchon sont d'abord garnis avec une corde

en chanvre goudronné que l'on force dans l'intervalle existant entre les deux tuyaux. Puis on coule du plomb fondu dans l'intervalle annulaire.

S'il s'agit de manchons à vis, on enroule dans le fond des filets quelques brins de chanvre imprégnés de céruse, de minium ou de graphite. Ce dernier présente l'avantage de ne pas devenir adhérent et d'assurer un démontage toujours facile.

Les tuyauteries sont fixées aux murs au moyen de brides en fer constituées par deux parties demi-circulaires. L'une de ces deux parties porte une patte à scellement que l'on fixe dans le mur, l'autre y est fixée au moyen de deux boulons ou d'une charnière. Ces brides ne doivent jamais empêcher d'atteindre les joints du tube, et celui-ci doit conserver une certaine liberté lui permettant de se dilater ou de se contracter sans ébranler les brides qui le supportent.

Si l'on doit conduire parallèlement une canalisation d'eau et une tuyauterie de vapeur, on placera cette dernière au-dessus de l'autre afin d'éviter que l'eau ne soit échauffée par le courant d'air chaud ascendant qui prend naissance au contact de la conduite de vapeur. Lorsque les canalisations sont nombreuses et enchevêtrées (eau, air comprimé, vide, vapeur, gaz, etc.), on se trouvera bien de peindre chaque conduite avec une couleur conventionnelle uniforme. Cette façon de faire facilite beaucoup les réparations et les modifications qu'on peut avoir à faire ultérieurement.

Les conduites de vapeur jusqu'à 50 millimètres de diamètre se font généralement avec des tubes en fer assemblés au moyen de brides ou de manchons à vis. Les tubes en fonte ne sont pas employés, car l'anneau de plomb constituant le joint est rapidement détruit par l'action de la vapeur. Ces conduites peuvent être placées sur les murs ou dans des caniveaux maçonnés dans le sol et recouvertes d'une plaque de tôle. Les joints doivent toujours rester très facilement accessibles.

Pour remédier aux effets de la dilatation qui fait fuir les points les mieux établis, on dispose de distance en distance (tous les 50 ou 100 mètres, suivant la température de la vapeur) des tubes condenseurs en cuivre. La figure 1 représente la forme la plus souvent employée. L'une des extrémités de la canalisation est fixe, l'autre peut se déplacer sous l'influence de la dilatation en rapprochant plus

ou moins les deux branches du tube en U, ce que permet aisément l'élasticité du métal. Le point inférieur du tube en U peut servir à recueillir et évacuer l'eau de condensation qui tend toujours à s'accumuler dans la conduite.

Le dispositif de la figure 2 possède deux presse-étoupes dans lesquels le tube peut jouer à la manière d'un piston. Il doit être très soigneusement établi, car, lorsque la pression n'est pas tout à fait normale, le frottement devient tel que la dilatation ne peut plus s'effectuer.

Pour les canalisations d'air comprimé, on emploie également des tubes à brides ou à manchon. La figure 3 représente un système de joint donnant toute satisfaction pour des pressions pouvant atteindre 8 atmosphères. Les extrémités des deux tubes à joindre sont droites et ne viennent pas tout à fait en contact. Le joint s'effectue par l'intermédiaire

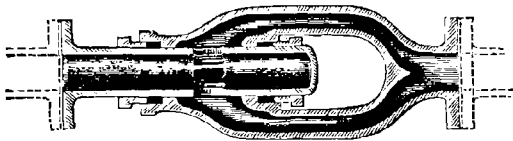


FIG. 2.

d'un bout de tube serré entre deux brides en fer avec interposition de deux rondelles en caoutchouc. Si l'on emploie des tubes à collerette, le joint est formé par du caoutchouc sans interposition de toiles qui lui enlèveraient une grande partie de sa souplesse ou par des rondelles d'amiante ou encore de papier verni. Avec le temps, le caoutchouc finit par adhérer fortement au métal, et l'on ne peut le détacher sans le rompre. On évitera cet inconvénient en l'imprégnant de talc ou de graphite, ou encore en interposant une rondelle de papier qui évite le contact direct avec le métal.

Les canalisations d'air raréfié doivent être établies avec le plus grand soin, car les rentrées d'air sont extrêmement difficiles à recon-

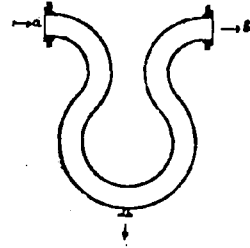


FIG. 1.

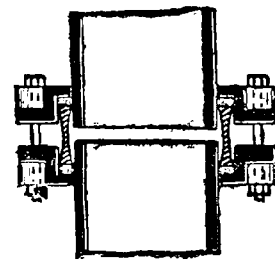


FIG. 3.

naître. Le seul moyen sûr consiste à refaire tous les joints à neuf, dès que l'on s'est assuré que la conduite ne tient pas le vide. On diminuera les chances d'accidents en soudant ou brasant les tubes constituant les parties droites de la canalisation, de façon à réduire autant que possible le nombre des joints à vérifier.

Ces joints sont confectionnés comme ceux des conduites d'air comprimé.

Les conduites d'eau de petit diamètre se font généralement en plomb. Si l'eau est sous pression élevée, on emploie des tubes en fer à collerette ou à manchon avec joint en caoutchouc ou en amiante. Avec les tubes en fonte, il est toujours à craindre que l'anneau de plomb formant joint ne soit chassé par la pression. Il en est de même pour les conduites d'aspiration ; tout défaut d'étanchéité se traduit par une rentrée d'air qui rend le fonctionnement de la pompe très difficile ou même impossible, si elle vient à se désamorcer.

Les canalisations d'acides ou de lessives alcalines se font exclusivement avec des tubes à brides, et les joints en amiante. Pour l'acide sulfurique dilué (50 à 60° B.), on emploie des tubes de plomb soudés.

Les joints d'appareils à distillation, à extraction, etc., se font à l'aide de caoutchouc, d'amiante, de plomb, d'argile plastique, etc., suivant les propriétés des matières avec lesquelles ils viennent en contact. Dans la fermeture des autoclaves et autres appareils, on doit veiller attentivement à ce que les écrous soient très également serrés. Si quelques écrous sont trop fortement serrés, ils rompent sous l'action de la pression interne s'ajoutant à la tension qu'on leur a donnée. Dans le cas le plus favorable, les autres écrous résistent, et il se produit une fuite qui oblige à interrompre l'opération. Si les autres boulons ne résistent pas, le couvercle est projeté et peut occasionner de graves accidents.

On doit toujours avoir en réserve des gabarits reproduisant les formes des joints et permettant de les découper à l'avance dans des feuilles de carton ou de caoutchouc, de manière à pouvoir les remplacer rapidement.

REVÊTEMENT DES TUYAUX DE VAPEUR

Les conduites de vapeur et la plupart des appareils où l'on veut maintenir une température élevée et constante sont préservés du refroidissement par un revêtement mauvais conducteur de la chaleur. Ce revêtement a pour effet d'empêcher la température de l'air ambiant de s'élever au point de devenir gênante et, en outre, de diminuer considérablement la condensation de la vapeur dans les conduites. Cette condensation correspond à une perte directe de combustible; il y a donc tout intérêt à la restreindre le plus possible.

Pour arriver à ce résultat, on a proposé les matières les plus diverses : terre glaise mélangée ou non de paille, liège aggloméré, terre d'infusoires, déchets de soie, etc.

D'après M. Bellmer¹, la résistance des matières calorifuges varie en raison inverse de leur efficacité. Les matières d'origine animale : duvet, soie, laine dégraissée, crin, constituent les meilleurs isolants. Les fibres végétales : coton, paille, cellulose, tourbe, liège et agglomérés artificiels, viennent ensuite. Enfin, les matières pulvérulentes d'origine diverse : cendre de bois, terre d'infusoires, sciure de bois, poussier de coke, laine de scories, se classent après. On les emploie le plus souvent mélangées avec des matières plastiques : argile, chaux, plâtre, qui diminuent encore leur pouvoir isolant.

Un bon isolant doit pouvoir résister aux causes d'altération, qui sont de trois ordres différents : action des températures élevées : action des agents chimiques et actions mécaniques.

Les matières d'origine animale perdent une partie de leur eau de combinaison sous l'influence d'une température élevée; elles rousissent; mais cette altération est limitée à une faible fraction de leur masse, c'est-à-dire à celle qui se trouve en contact direct avec la paroi chaude. Elle ne se manifeste que dans la zone qui est exposée à une température supérieure à 100° environ.

La matière altérée ne perd nullement son pouvoir isolant et protège

1. *Z. des Vereines deutscher Ingenieure*, 1887.

les couches extérieures, qui la maintiennent à l'abri de toute altération.

Les matières plastiques terreuses résistent parfaitement à l'action des températures les plus élevées qu'elles puissent avoir à supporter dans ces conditions. Au contraire, les matières d'origine végétale sont très sensibles à l'action des températures élevées, et il arrive fréquemment qu'elles brûlent avec flamme, pouvant ainsi devenir une cause d'incendie. Ces mêmes matières offrent le moins de résistance à l'action des agents chimiques, tandis que les masses plastiques leur résistent bien, ainsi que les fibres animales.

Au point de vue de la résistance aux actions mécaniques, les matières d'origine animale présentent encore le maximum de résistance, tandis que les masses plastiques s'effritent avec une grande facilité dès qu'elles sont sèches. Il résulte de cette comparaison que les matières d'origine animale doivent être préférées à toutes les autres, puisqu'elles réunissent les avantages de posséder un pouvoir isolant élevé et de résister le mieux à toutes les causes de destruction.

Dans l'appréciation de la valeur d'un calorifuge, on doit tenir compte de sa facilité d'application et de la possibilité de réemploi. Ce dernier point est particulièrement important, car il arrive fréquemment dans l'industrie chimique que l'on se trouve dans la nécessité de modifier une conduite de vapeur existante, et il est avantageux de pouvoir faire resservir le calorifuge qui la revêtait.

Parmi les calorifuges répondant le mieux à ces conditions multiples, on doit citer les tresses et bourrelets de déchets de soie fabriqués par la maison Pasquay, de Wasselonne (Alsace). La figure 4 représente le mode d'application de ces isolants : on crée d'abord une couche d'air en appliquant sur la conduite de vapeur une tôle piquée, c'est-à-dire portant des aspérités à la manière d'une râpe. On enroule ensuite une bande de fer-blanc qui forme l'enveloppe extérieure de la couche d'air. C'est sur cette bande de fer-blanc que l'on enroule le bourrelet de soie ; la couche d'air interposée a pour effet de préserver efficacement la matière isolante d'une carbonisation trop avancée. Le tout est maintenu à chaque extrémité par une bande de fer-blanc agrafée. On obtient ainsi un excellent isolement et une économie de 90 0/0 sur la quantité d'eau de condensation qui prendrait naissance dans la même conduite nue.

Dans le cas où l'on emploie la vapeur surchauffée possédant une température de 250 à 300°, il est très important d'éviter toute condensation, sous peine de perdre tout le bénéfice que l'on est en droit d'attendre de la surchauffe. Pour permettre à la soie de résister efficacement dans ces conditions, on emploie une double couche d'air, ou, ce qui est plus simple, on recouvre d'abord la conduite d'une couche d'enduit à base de terre d'infusoires de 5 à 15 millimètres d'épaisseur, sur laquelle on applique la couche d'air et ensuite la couche de soie.

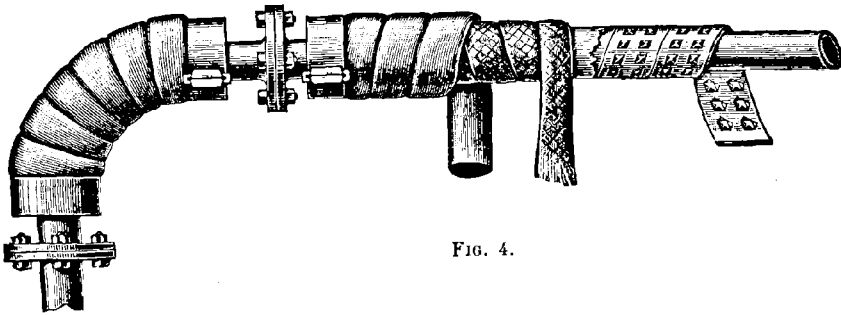


FIG. 4.

On fabrique également des coquilles en liège aggloméré qui sont imprégnées en vue de diminuer leur inflammabilité. Mais cette imprégnation a souvent pour effet de diminuer le pouvoir isolant du liège, et elle n'est pas toujours absolument efficace contre les dangers d'incendie.

Les conduites que l'on veut protéger des effets de la gelée sont préservées au moyen d'un tube de plomb de 10 millimètres de diamètre environ que l'on enroule en spirale autour des tubes. On y fait circuler une quantité de vapeur telle que l'eau de condensation qui s'écoule à l'extrémité opposée soit encore tiède. On peut encore, s'il s'agit d'un liquide facilement congelable, disposer le tube de vapeur parallèlement à la canalisation et entourer le tout d'une couche de feutre ou de toute autre matière isolante.

Le même procédé peut être employé pour maintenir un appareil à une température constante et compenser les pertes de chaleur par rayonnement qu'il subit continuellement.

PRESSE-ÉTOUPE

La garniture d'un presse-étoupe est une opération qui peut se présenter journellement et qu'il est nécessaire de pouvoir effectuer dans les meilleures conditions.

La matière servant à faire le joint est variable suivant la nature de celle avec laquelle elle doit venir en contact. Pour l'eau et la vapeur, on emploie généralement la filasse de chanvre imprégnée de suif ou mieux de paraffine. Cette garniture ne possède qu'une durée limitée, et l'on a proposé de nombreuses matières pour la remplacer : l'amiante tressée, le coton sous forme de boyaux remplis de talc pulvérisé contenant une partie centrale en caoutchouc, etc. Ce dernier présente l'inconvénient de fuir lors de la mise en marche et jusqu'au moment où le noyau de caoutchouc s'est dilaté par l'action de la chaleur.

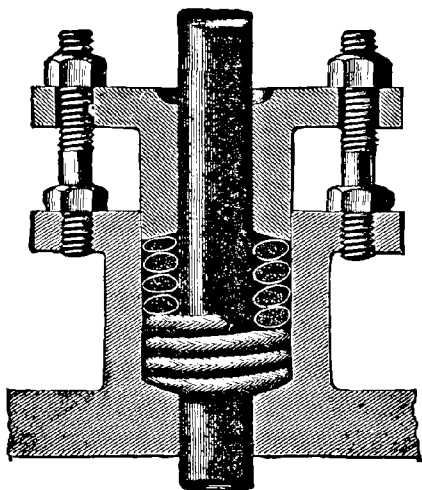


FIG. 5.

Pour les puissantes machines à vapeur, on emploie fréquemment des garnitures en alliages de plomb (métal antifricion). La garniture comporte plusieurs anneaux superposés de telle façon que les joints ne correspondent pas (*fig. 6*). Le dernier est généralement conique, de façon à obtenir un joint parfait en raison de la pression que lui transmettent les anneaux intermédiaires. On interpose ordinairement une garniture en coton entre le premier et le presse-étoupe. Par un serrage modéré du couvercle du presse-étoupe, on obtient un joint excellent et très durable.

Les presse-étoupes venant en contact avec des acides ou des

lessives alcalines se font généralement avec des tresses d'amiante, les autres matières étant trop rapidement attaquées.

Il est très important de serrer très également les différents écrous maintenant la garniture en place. Sans cela, il peut arriver que l'axe du presse-étoupe et celui de la tige du piston ne coïncident plus. Il en résulterait une usure rapide de la garniture et un défaut d'étanchéité.

En outre, les écrous ne doivent être serrés que très progressivement et juste ce qu'il est nécessaire pour que le joint ne fuie pas. Si on les serre à outrance, il peut arriver que la tige du piston ne puisse plus se mouvoir; dans tous les cas, on fatigue inutilement les organes de l'appareil, et l'on perd une force qui peut devenir considérable.

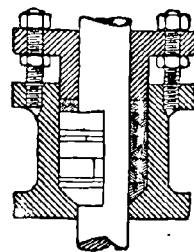


FIG. 6.

Le graissage de tous les appareils et machines doit s'effectuer automatiquement toutes les fois que cela est possible et, dans les installations importantes, on a tout avantage à organiser un graissage central permettant de graisser le plus grand nombre d'organes possible d'une seule et même place. L'emploi de la graisse consistante, qui tend à se généraliser de plus en plus, permet de simplifier considérablement cette opération. On l'envoie sous pression, au moyen de tubes de faible diamètre, dans des graisseurs construits spécialement et qui peuvent être placés dans des endroits difficilement accessibles. La canalisation et les organes de distribution doivent être protégés de la gelée.

En ce qui concerne les organes en mouvement : bielles, excentriques, etc., on doit prendre les précautions nécessaires pour qu'ils ne soient jamais et sous aucun prétexte graissés pendant la marche des appareils, car les accidents provoqués par cette manière de faire sont très fréquents et ne sont pas garantis par les compagnies d'assurances contre les accidents du travail.

ROBINETS

Les robinets, soupapes et valves sont employés toutes les fois qu'il est nécessaire de pouvoir arrêter à volonté l'écoulement d'un fluide liquide ou gazeux.

Les robinets à boisseau (*fig. 7*) ne sont employés que lorsque la

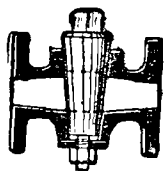


FIG. 7.

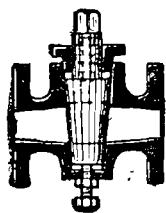


FIG. 8.

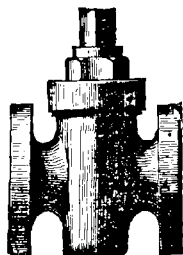


FIG. 9.

question du bon marché prime toutes les autres. Ils peuvent fuir en deux endroits différents, au-dessus et au-dessous du boisseau, tandis que les robinets d'une exécution plus soignée ne peuvent fuir qu'en un seul endroit, la noix ne traversant pas le boisseau de part en part.

Lorsque le robinet est grippé, on ne peut plus le tourner; on dévisse l'écrou placé à la partie inférieure et on chasse la noix en frappant sur sa partie inférieure.

Dans les robinets à presse-étoupe (*fig. 8 et 9*), on dévisse d'abord le presse-étoupe afin de donner à la noix le jeu nécessaire.

Pour empêcher le grippage des robinets, on les munit parfois d'un dispositif de graissage automatique (*fig. 10*). Dans ce modèle, le presse-étoupe n'agit pas directement sur la noix; celle-ci est maintenue en place par un écrou fermé. Une rondelle rodée sur laquelle il prend appui forme un deuxième joint à la partie inférieure. Cette construction présente l'avantage de permettre une manœuvre facile du robinet, alors même que le presse-étoupe est fortement serré; en outre, la garniture du presse-étoupe n'est pas comprimée, quelle que soit la pression qui règne dans la canalisation.

D'autres constructeurs évitent le grippage en munissant le boisseau de quatre rainures en queue d'hironde que l'on garnit d'amiante (*fig. 11*). Les robinets de ce genre peuvent être confectionnés avec un métal résistant particulièrement bien aux acides et sont alors bien adaptés aux exigences spéciales de l'industrie chimique.

Les robinets à fermeture dite automatique (*fig. 12 et 13*) présentent l'avantage d'être d'autant mieux étanches que la pression est plus

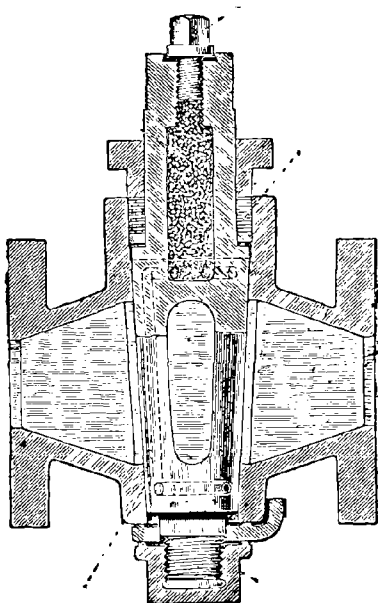


FIG. 10.

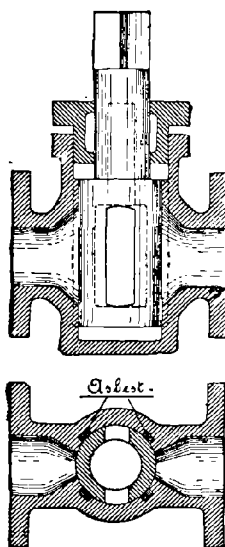


FIG. 11.

élevée, celle-ci appliquant elle-même la noix contre le boisseau.

La noix est conique et creuse ; on l'introduit par la partie inférieure, et le liquide passe par un ou deux orifices percés dans sa paroi.

La construction représentée par la figure 12 présente sur la suivante le désavantage que la pression de la vapeur ne s'exerce utilement pour l'étanchéité du robinet que lorsqu'il est ouvert.

En outre, dans la deuxième, la dilatation s'exerçant régulièrement sur toutes les parties en contact, le robinet est toujours d'un maniement aisé, et, la noix ne possédant qu'une seule ouverture, l'étanchéité

est assurée par une grande surface de contact entre la partie mobile et la partie fixe.

Les robinets de ce genre présentent certains inconvénients dus à ce que la vapeur y change brusquement de direction. On y remédie en ménageant des orifices aussi larges que possible. De plus, lorsque le robinet est fermé et qu'il est placé sur une conduite de vapeur horizontale, l'eau s'accumule à sa partie inférieure, surtout si la vapeur est

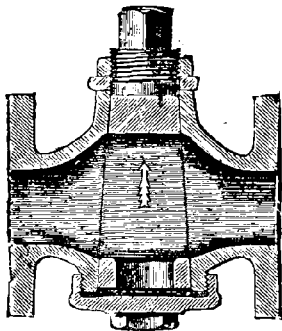


FIG. 12.

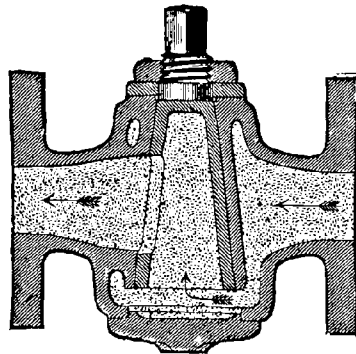


FIG. 13.

humide. Au moment de l'ouverture du robinet, cette eau est violemment projetée contre ses parois qui peuvent être brisées par la violence du choc. Pour cette raison, les robinets de ce genre doivent être disposés de telle façon que l'eau de condensation ne puisse jamais s'y accumuler.

Pour les conduites à faible pression, on emploie les robinets à gaz munis de deux manchons à chacune de leurs extrémités et dont la noix est en fonte.

Les robinets de tout genre peuvent se fixer sur les réservoirs ou s'intercaler dans les canalisations à l'aide des mêmes dispositifs qui servent à l'assemblage des tuyaux entre eux : manchons à vis, brides, etc. Si la canalisation est en plomb, on les soude directement.

Les robinets décrits jusqu'ici sont destinés à être placés sur une canalisation disposée en ligne droite.

Si la canalisation se courbe à angle droit, on emploie un robinet spécial (*fig. 14*), qui évite en même temps l'emploi d'un coude de raccord.

S'il s'agit de mettre une canalisation en communication avec deux canalisations perpendiculaires, on dispose un robinet à trois voies. La construction représentée figure 15 permet de mettre l'une quelconque des canalisations horizontales en communication avec la tuyauterie verticale, l'autre restant fermée. La construction de la figure 14 permet, en outre, de mettre les trois canalisations horizontales simultanément en communication ou de les fermer toutes trois.

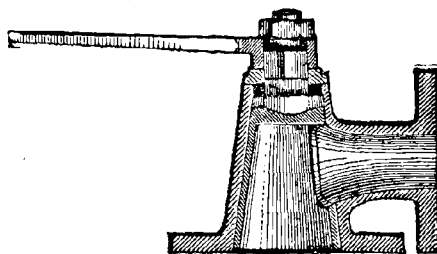


FIG. 14.

Suivant leur destination, les robinets se construisent entièrement en fonte ou en laiton et parfois en fonte avec noix en bronze. Cette dernière construction est surtout employée pour les conduites d'eau et de vapeur afin d'éviter que la rouille ne fasse gripper le robinet.

Pour les lessives alcalines et les acides qui n'attaquent pas le fer

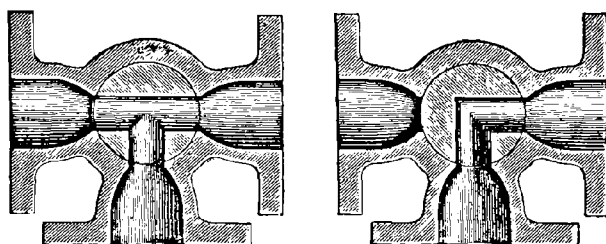


FIG. 15.

(l'acide sulfurique à 66° B., par exemple), on emploie des robinets en fer ou en alliage capable de résister à l'action chimique des liquides avec lequel il doit être en contact.

Pour l'acide azotique, l'acide chlorhydrique, etc., on emploie des robinets en grès ou en argile cuite parfaitement rodés. Ces robinets sont garnis d'une armature en fer et en plomb permettant de les placer à la suite d'une canalisation. Si la conduite est en plomb, le robinet porte un pas de vis qui permet de le visser directement à son extrémité.

La figure 16 représente un robinet-billot en grès. Ce billot est relié au moyen de deux boulons à deux armatures en fonte émaillées placées à chacune de ses extrémités et terminées elles-mêmes par une bride de raccord. Pour éviter que la clef du robinet ne se soulève sous

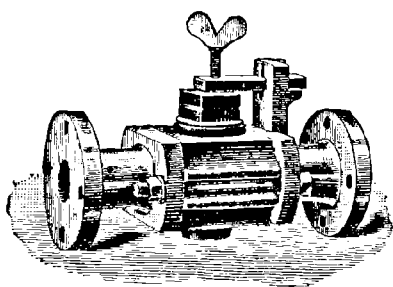


FIG. 16.

l'influence de la pression, elle est maintenue en place au moyen d'une vis de pression avec tête à oreilles. Cette vis de pression doit être serrée avec précaution, car un serrage trop énergique entraîne souvent la rupture du boisseau. L'interposition d'un ressort entre la vis *a* et la tête du boisseau *b* évite cet inconvénient (*fig.* 18).

Les robinets destinés à être placés sur une tourie sont rodés de manière à s'adapter exactement à son orifice.

Le rodage des robinets en grès doit être très soigné pour qu'ils soient étanches. Lorsque la pâte contient des parties plus dures (grains de silice, par exemple), celles-ci tracent souvent des sillons circulaires sur le pourtour de la clef ce qui peut occasionner des

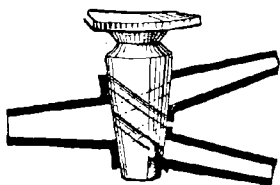


FIG. 17.

fuites. On peut éviter cet inconvénient en donnant à la lumière une position inclinée comme à la figure 17. Les sillons circulaires n'ayant pas d'issue à l'extrémité opposée, l'étanchéité est plus

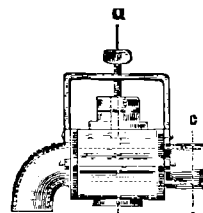


FIG. 18.

durable. La même figure représente une disposition particulière du robinet à trois voies d'un maniement plus commode que celle qui a déjà été décrite.

Dans la fabrication de l'acide picrique, on emploie des robinets en ébonite; pour d'autres cas spéciaux, on construit des robinets en plomb antimoné avec clef en ébonite ou en grès avec clef en plomb durci. L'ébonite est d'une bonne résistance aux acides, mais il se ramollit sous l'action de la chaleur.

Enfin, on emploie encore et dans des cas particuliers des robinets en bois (cannelles), qui présentent l'avantage d'être très peu coûteux, mais ne résistent qu'à de faibles pressions.

VALVES

Les valves se construisent avec les matières les plus variées, et il en existe un très grand nombre de modèles différents. Elles sont beaucoup plus employées que les robinets, car elles permettent un

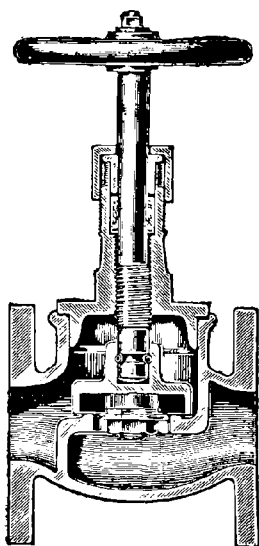


FIG. 19.

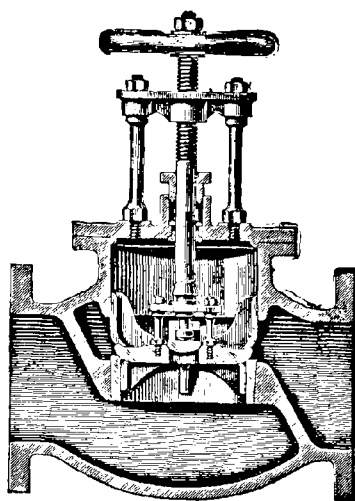


FIG. 20.

réglage beaucoup plus précis et évitent les variations brusques de pression dans la conduite au moment de l'ouverture ou de la fermeture de l'écoulement.

Lorsqu'on ferme brusquement un robinet, l'eau arrivant sous pression produit un choc violent, qui a parfois pour conséquence de faire éclater le tuyau d'amenée. Les valves ne pouvant être manœuvrées que très progressivement évitent cet accident.

Les valves sont généralement construites en fonte avec une garniture en laiton ou en bronze ; le guidage du cône assurant la fermeture

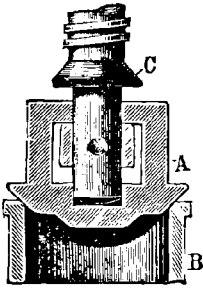


FIG. 21.

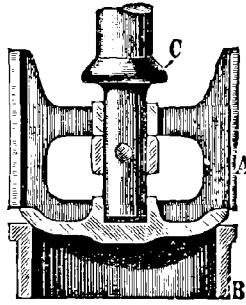


FIG. 22.

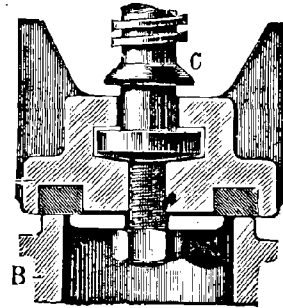


FIG. 23.

par son application sur le siège de la soupape s'effectue par des organes divers suivant le diamètre de la conduite.

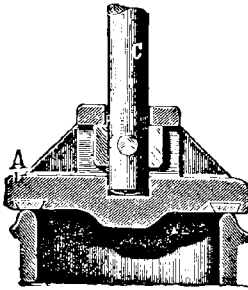


FIG. 24.

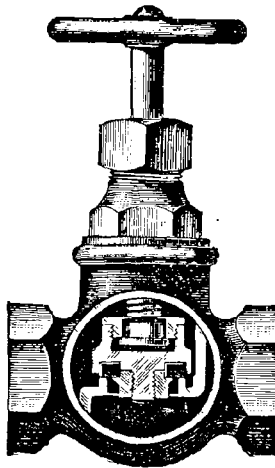


FIG. 25.

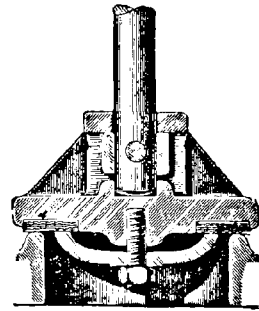


FIG. 26.

Pour un diamètre de 15 à 35 millimètres, on emploie généralement une tige filetée, la partie supérieure de la boîte de la soupape étant elle-même entaillée d'un filet (*fig. 19*). Pour des valves de grand diamètre, la tige est filetée au-dessus du presse-étoupe et guidée par un écrou fixe (*fig. 20*).

Les figures 21 à 29 reproduisent les principales dispositions adoptées pour le cône et le siège de la valve, ainsi que le mode de fixation de la tige de manœuvre. Le dispositif de la figure 21 est adopté pour des valves de 15 à 35 millimètres de diamètre, celui de la figure 22 au-dessus de 40 millimètres.

La figure 26 montre la fermeture Jenkins qui se comporte également bien avec des liquides chauds ou froids, des acides ou des alcalis. La rondelle formant joint peut être aisément remplacée, et cela sans démonter la valve qui reste fixée sur la tuyauterie; elle s'use d'ailleurs très peu. La figure 25 montre une autre disposition de cette valve.

Lorsque la fermeture se fait à l'aide d'un anneau en plomb durci, ou de chanvre, on peut adopter pour le cône et le siège la disposition de la figure 24, qui présente l'avantage de fournir un bon joint, même lorsque les surfaces ne sont plus parfaitement planes ou

que quelques débris de matières s'y sont interposés. Pour renouveler le joint, il suffit d'enlever l'ancien métal en le faisant fondre et le remplacer en coulant à nouveau un alliage convenable dans la rainure circulaire.

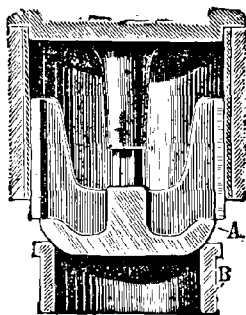


FIG. 28.

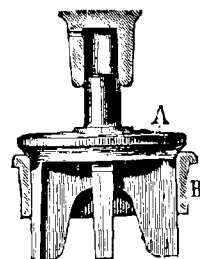


FIG. 27.

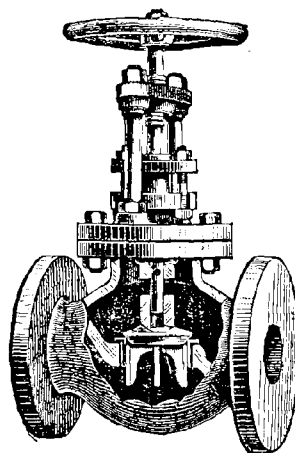


FIG. 29.

Le joint peut être fait au moyen de cuir, de caoutchouc, de fibre vulcanisée ou de bois. On emploie le cuir pour la benzine et le caoutchouc pour les liquides épais. Dans ces cas, on fait usage du mode de construction représenté figure 26.

Pour les soupapes d'alimentation, on adopte généralement la construction représentée par la figure 27; la soupape est guidée dans le

siège lui-même, et sa course est limitée à sa partie supérieure par la pénétration d'une tige la surmontant dans un cylindre placé dans la partie supérieure de la boîte à soupape.

La figure 28 montre le dispositif inverse : la soupape est guidée par un logement disposé au-dessus du siège, et la course est limitée par une tige qui vient buter contre une pièce fixe.

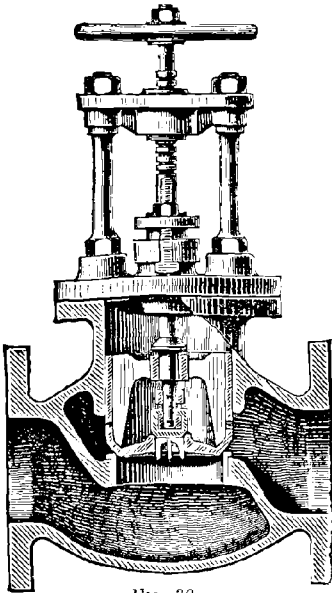


FIG. 30.

mètre élevé, leur ouverture et leur fermeture ne peuvent se faire qu'en déployant un effort considérable, en raison de la pression élevée qui n'agit que d'un seul côté de la soupape.

Cet inconvénient est évité par l'emploi des valves d'arrêt du système Dallen avec soupape équilibrée (*fig. 30*).

La vapeur arrive au-dessus du cône et non au-dessous.

La tige de manœuvre commande directement une soupape de faible diamètre placée au centre d'une beaucoup plus grande. Cette dernière se meut assez librement dans son logement cylindrique pour que la pression de l'eau ou de la vapeur puisse la soulever ou l'appliquer sur son siège. Lorsque l'on manœuvre le volant, on soulève la soupape centrale, et la pression existant au-dessus du cône se propage au dessous et le soulève.

Il en est de même lorsque l'on ferme la vapeur : la tige de com-

mande ferme la soupape centrale, et la pression qui s'exercera au-dessus de l'ensemble l'applique exactement sur son siège. L'effort à faire dans les deux cas est très minime.

Comme il a déjà été dit, les valves ne peuvent être ouvertes ou fermées qu'assez lentement. Il peut être parfois nécessaire de pouvoir interrompre rapidement l'arrivée de vapeur en cas d'accident ou d'irrégularité dans la marche d'un appareil.

La valve représentée figure 31, construite par la maison Schaeffer et Budenberg, permet d'obtenir ce résultat d'une

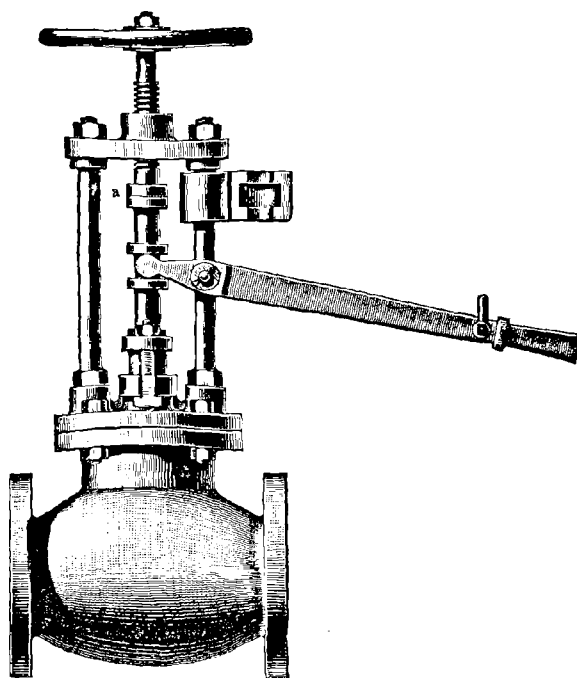


FIG. 31.

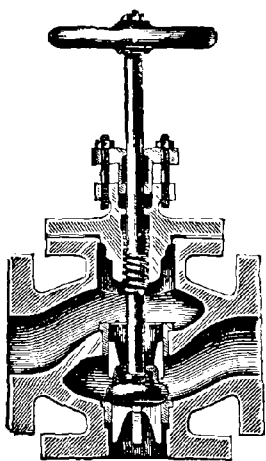


FIG. 32.

façon très simple. Cette valve doit être placée sur la conduite de telle façon que la vapeur arrive au-dessus du cône et de manière que la fermeture s'effectue par sa propre pression.

La tige de commande est en deux parties indépendantes qui viennent en contact en *a*. Ces deux parties peuvent être accouplées au moyen d'une pièce de forme spéciale qui peut tourner autour de l'une des colonnettes comme axe. Pour ouvrir la vapeur, on accouple les deux parties de la tige de commande et l'on manœuvre le volant. Les deux parties sont alors rendues indé-

pendantes à nouveau; pour fermer brusquement l'arrivée de vapeur, il suffit alors de lever le levier représenté à droite de la figure. Cette manœuvre peut être faite d'un point éloigné au moyen d'un fil métallique ou d'une chaînette qu'il suffit alors de tirer.

On construit aussi des valves permettant de faire arriver ou d'interrompre la circulation de vapeur dans deux canalisations différentes, et cela simultanément.

La figure 32 indique suffisamment le mode d'action des valves de ce genre.

Lorsque l'on intercale une valve sur une conduite de vapeur, on doit veiller

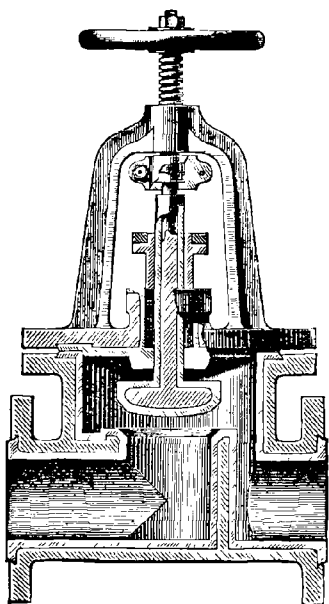


FIG. 33.

à ce qu'il ne puisse s'accumuler d'eau de condensation à la partie inférieure de la valve. Cette eau diminue la section de passage de la vapeur et entraîne une perte de pression; en outre, elle peut donner lieu à des chocs violents au moment de l'ouverture de la vapeur, en raison de sa projection brusque. Pour éviter ces inconvénients, on installe la valve de telle façon que la tige de commande et la soupape soient horizontales. Cette remarque ne s'applique pas aux robinets-vannes décrits plus loin et dans lesquels ces inconvénients ne peuvent se produire en raison de leur mode de construction.

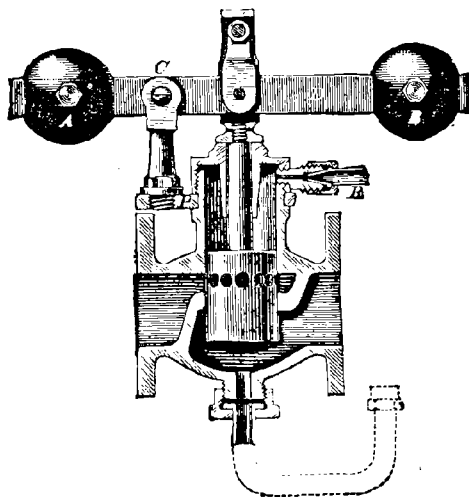


FIG. 34.

Les valves décrites jusqu'ici étant généralement destinées à être disposées sur des canalisations d'eau ou de vapeur sont construites en fonte et en bronze. Lorsque la nature des liquides l'exige, on les garnit intérieurement d'un revêtement en plomb, en étain, en ébonite, etc., de manière à exclure tout contact métallique nuisible. La figure 33 représente une valve entièrement doublée de plomb antimonié; la tige de commande est en deux parties accouplées, et le cône faisant obturation ne participe pas au mouvement de rotation de la vis de commande. Il ne fait que glisser verticalement dans la boîte à étoupe, ce qui lui permet de rester beaucoup plus longtemps étanche.

Toutes les fois qu'il est nécessaire d'obtenir de la vapeur à pression constante, par exemple dans le serpentín réchauffeur d'un appareil à distillation, on doit se servir d'une soupape de réduction. En effet, le réglage au moyen d'une valve ordinaire a pour grand inconvénient de devoir être modifié à chaque variation de pression dans la chaudière; ce qui est pratiquement impossible à faire.

La figure 34 montre une soupape de réduction construite par la maison Koerting, qui permet de réduire la pression de la vapeur d'une pression initiale quelconque et variable à une pression réduite et constante. Elle se compose d'un simple tube en fonte, à parois minces, s'adaptant dans le bas d'une façon étanche sur un siège et formant ainsi soupape d'arrêt. La partie moyenne de ce tube est guidé dans une gaine; le haut est muni d'un piston glissant dans un cylindre, le tout aussi étanche que possible. Le mouvement et la position de ce piston déterminent l'importance de l'ouverture de la soupape et par conséquent la quantité de vapeur détendue.

La pression réduite de la vapeur agit sur la surface supérieure du piston, tandis que sa surface inférieure reçoit la pression de la vapeur à haute pression passant par suite du jeu entre la gaine et le tube. Cette pression au-dessous du piston est toujours maintenue constante au moyen d'une petite soupape de décharge établissant une communication avec l'extérieur. La soupape de décharge est pressée constamment par un levier à contrepoids ou pas un ressort. Cette pression est donc uniforme et variable à volonté.

Le piston change sa position, monte ou descend, aussitôt que la différence entre la pression en dessus et au dessous varie, c'est-à-dire — la pression en dessous restant constante — aussitôt que la pres-

sion au-dessus du piston, qui est la pression réduite de la vapeur, varie.

Cette action du piston est tout à fait indépendante de la pression

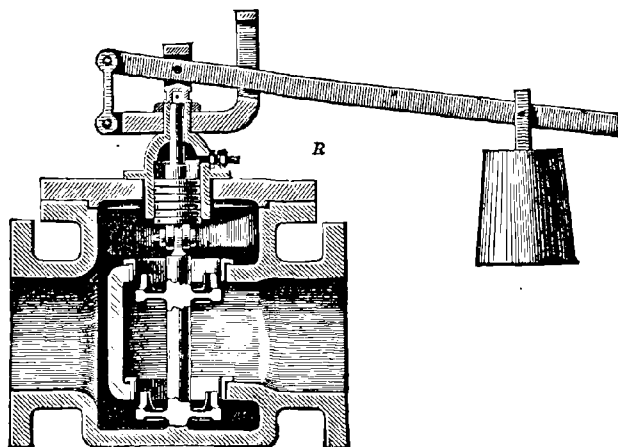


FIG. 35.

initiale de la vapeur et de la quantité de vapeur passant par la soupape. Un manomètre permet de déterminer la pression que possède la vapeur détendue, pression que l'on peut faire varier pendant le fonctionnement de l'appareil.

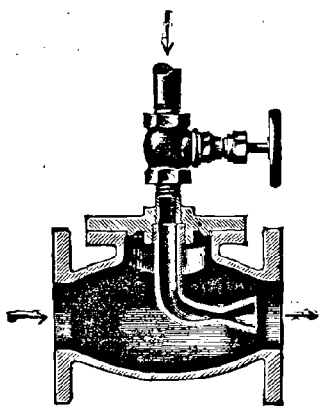


FIG. 36.

La maison Schæffer et Budenberg construit une soupape de réduction à double siège représenté figure 35. Cette soupape équilibrée est reliée avec un piston qui se meut aussi exactement que possible dans un cylindre disposé à la partie supérieure de la boîte à soupape. Ce piston reçoit à sa partie inférieure la pression de la vapeur détendue et à sa partie supérieure celle d'un poids mobile le long d'un levier articulé. La va-

peur qui passe à travers la soupape ne peut exercer sur la face inférieure du piston qu'une pression correspondante à celle qu'exerce le

contrepoids; si elle devient supérieure pour une raison quelconque, le piston soulève le levier et soulève la soupape, fermant ainsi l'arrivée de vapeur. Le petit tube R sert au dégagement de la vapeur, qui aurait pu passer entre le piston et les parois du cylindre dans lequel il se meut.

Lorsque la quantité de vapeur d'échappement dont on dispose est insuffisante pour le chauffage, on lui ajoute une certaine quantité de

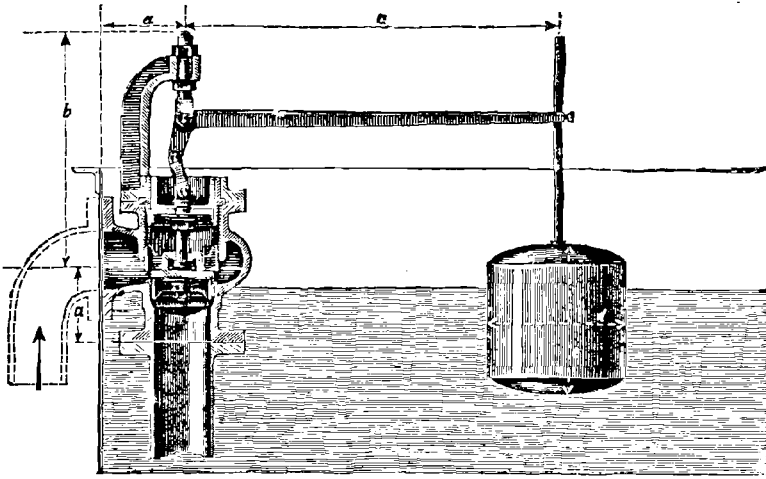


FIG. 37.

vapeur fraîche au moyen d'un mélangeur. La figure 36 représente un de ces appareils; la vapeur d'échappement circule dans une canalisation horizontale de gros diamètre, tandis que la vapeur fraîche arrive par une petite conduite verticale sur laquelle est placée une valve permettant de faire varier facilement sa quantité. Cette dernière sort par un ajutage de forme conique avec une vitesse considérable et aspire et entraîne la vapeur d'échappement. On évite non seulement toute contre-pression nuisible sur les pistons de la machine à vapeur, mais on les décharge dans une certaine mesure et suivant la quantité de vapeur vive introduite.

Il existe un très grand nombre de dispositifs permettant de maintenir un réservoir rempli jusqu'à un niveau constant. Leur organe principal est un flotteur placé à l'extrémité d'un levier qui commande un robinet ou une valve de forme appropriée. La figure 37 représente un

appareil de ce genre construit par la maison Dehne. Le simple examen de la figure permet de se rendre compte de son fonctionnement; l'arrivée d'eau par le tube vertical est automatiquement interrompue dès que le levier auquel est fixé le flotteur est arrivé à la position horizontale représentée par la figure. Cette interruption se fait très graduellement, ce qui évite complètement les chocs (coups d'eau), qui ont pour effet de mettre la canalisation d'eau rapidement hors de service.

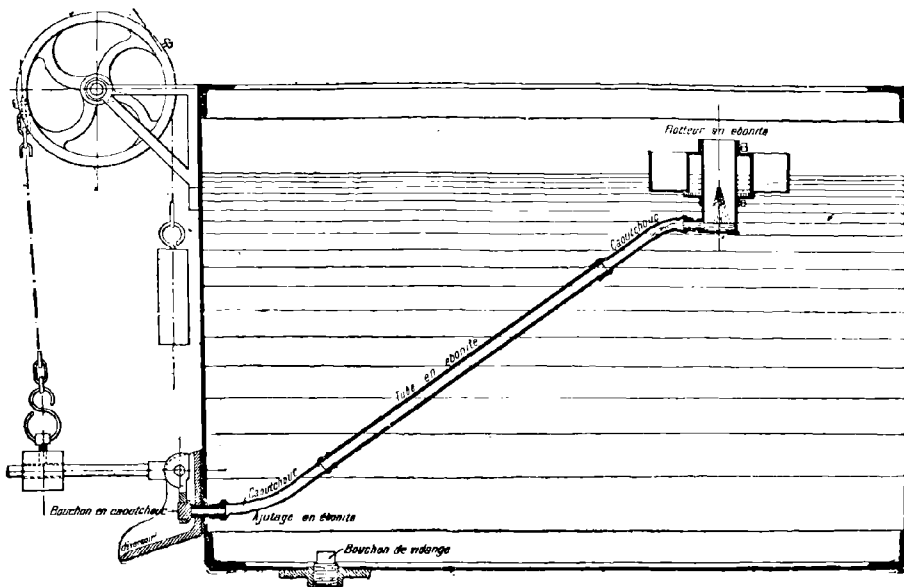


FIG. 38.

S'il s'agit d'obtenir un écoulement constamment régulier, quel que soit le niveau de la solution se trouvant dans un réservoir, on emploiera avantageusement le flotteur régulateur Desrumeaux (*fig. 38*). Cet appareil se compose d'un flotteur annulaire en ébonite au centre duquel est placé un tube dont la paroi est percée d'un orifice par lequel pénètre le liquide. Ce tube central est relié par une tubulure latérale à un conduit de décharge flexible qui traverse la paroi du réservoir à sa partie inférieure. Le flotteur annulaire a pour effet de maintenir l'orifice d'écoulement à une distance toujours égale du niveau du liquide; la pression est donc constante et, par suite, l'écou-

lement du liquide régulier, quel que soit le niveau de la solution dans le réservoir. Le tube central du flotteur régulateur peut être élevé ou abaissé à volonté, suivant que l'on veut réduire ou augmenter le débit du réservoir : on le fixe à la hauteur voulue au moyen d'une vis de pression.

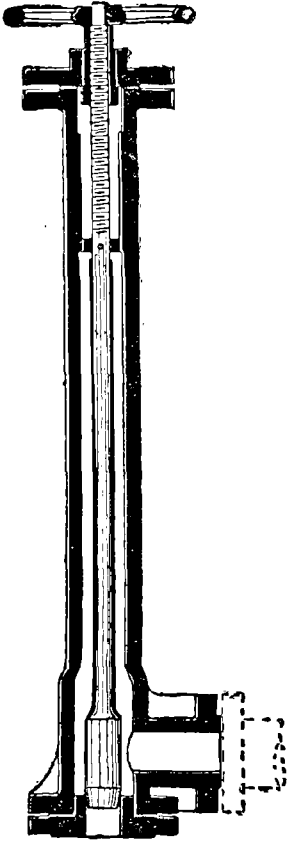


FIG. 39.

un cylindre en plomb malléable, qui forme le joint par son contact avec le siège de la valve, lequel est en fonte ou en plomb anti-monié. Cette tige est filetée à son extrémité supérieure et peut être manœuvrée à l'aide d'un volant. Il arrive assez souvent que la valve fuit en raison de l'interposition de matières étrangères entre le cône et le siège ; ce dernier, étant plus dur que l'autre, n'est pas altéré, et il suffit, pour obtenir un bon joint, d'enlever la tige et le cône et de

Cet appareil breveté a été spécialement construit en vue de doser les réactifs nécessaires à l'épuration des eaux ; mais il est susceptible de trouver de très nombreuses applications. La figure montre le détail de ses différents organes ; il peut servir par exemple à décantier automatiquement le liquide surmontant un précipité quelconque, l'écoulement s'arrêtant dès que le flotteur est immobilisé par son contact avec la couche de matières solides.

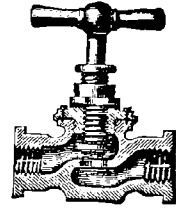


FIG. 40.

Pour les monte-jus à acide sulfurique, on emploie souvent une valve construite par la fabrique de produits chimiques Griesheim Elektron, et représentée figure 39. Elle se compose d'une enveloppe cylindrique portant à l'une de ses extrémités un presse-étoupe, à l'autre une bride pour la raccorder à une canalisation.

La tige formant obturation est recouverte de plomb et porte à son extrémité

rafraîchir son extrémité en enlevant quelques copeaux de plomb. Cette facilité de réparation et la grande simplicité de construction constituent les avantages particuliers de ce système.

Dans les valves du système représenté par la figure 40, l'enveloppe et le siège de la valve forment une seule et même pièce. Le cône de fermeture est un disque plat que l'on abaisse ou relève à l'aide d'une tige filetée passant dans un presse-étoupe. Le disque peut être garni de cuir ou de caoutchouc, et il est disposé de façon à permettre le remplacement facile de la garniture. Ces valves se font généralement en fer ou en bronze, mais on peut également les construire en plomb durci ou en ébonite; elles ne sont guère employées que pour des canalisations d'un diamètre inférieur à 40 millimètres.

VANNES

Les vannes se distinguent des appareils précédents par le fait que la partie formant fermeture est perpendiculaire à la direction de circulation du fluide et que, lorsque la vanne est ouverte, la section de la canalisation est entièrement libre. La fermeture est obtenue par un disque dont les bords sont munis d'une garniture formant joint. Ce disque peut être élevé ou abaissé à l'aide d'une tige filetée sans qu'il tourne sur lui-même. Les vannes se construisent avec des manchons à emboîtement (*fig. 41*) ou avec des brides d'assemblage à boulons. Elles sont beaucoup plus économiques que les valves, surtout pour les canalisations de grand diamètre (jusqu'à 1 mètre).

En outre, on peut les placer dans le sol en faisant seulement dépasser l'extrémité de la tige de commande. Celle-ci est terminée par une partie carrée que l'on fait tourner à l'aide d'une clef de forme appropriée.

De même que les valves, les vannes ne peuvent être manœuvrées qu'au prix d'un grand effort lorsque leurs dimensions sont considérables; on y remédie en réunissant les deux parties de canalisation qu'elles séparent au moyen d'une tubulure sur laquelle est placée une

vanne de petite dimension que l'on ouvre d'abord de manière à équilibrer aussi bien que possible la différence de pression existant entre les deux faces de la grande vanne (*fig. 42*).

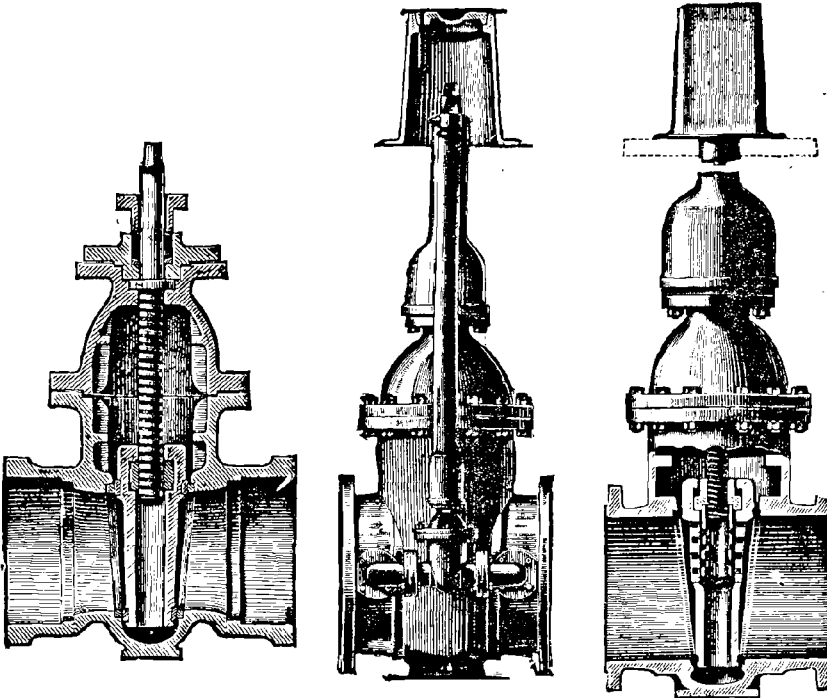


FIG. 41.

FIG. 42.

FIG. 43.

La figure 43 représente un dispositif breveté par Giebeler et construit par la maison Dehne. La tige de commande fait d'abord mouvoir une vanne de petites dimensions percée de trous qui viennent se mettre en regard d'orifices existant dans la vanne proprement dite. Ces orifices créent une égalisation de pression et, en continuant le mouvement de rotation, il est facile d'ouvrir la vanne. A la fermeture, les choses se passent exactement de même, mais en sens inverse.

PURGEURS D'EAU DE CONDENSATION

Lorsqu'on fait circuler de la vapeur dans une canalisation, elle se condense toujours partiellement, quelles que soient les précautions que l'on ait pu prendre pour protéger les tuyaux du refroidissement. Pour éliminer cette eau de condensation sans perte de vapeur, on emploie les purgeurs automatiques.

Les appareils construits dans ce but sont innombrables, et chacun d'eux remplit plus ou moins exactement le but auquel il est destiné.

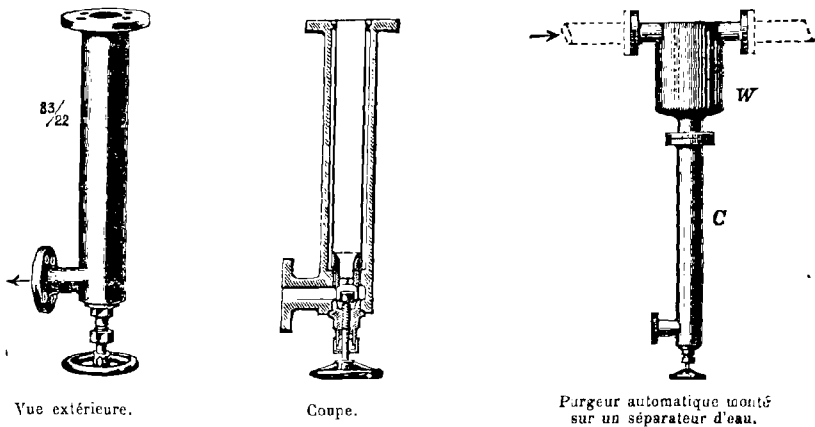


FIG. 44.

Les appareils de ce genre utilisent trois principes différents. Les uns sont basés sur la dilatation des métaux, les autres emploient un flotteur, et les troisièmes enfin utilisent le poids de l'eau de condensation elle-même pour faire mouvoir une valve qui laisse passer l'eau et retient la vapeur.

L'écoulement de l'eau peut s'effectuer d'une façon périodique ou d'une manière continue. Cette dernière est préférable, car l'élimination périodique entraîne toujours des pertes de vapeur.

Nous nous bornerons ici à décrire quelques-unes des constructions

les plus typiques, de manière à permettre au lecteur de se rendre compte du fonctionnement de ces appareils.

Les purgeurs automatiques à dilatation du système Koerting (*fig. 44*) utilisent l'effet de la dilatation de la manière suivante : Un tuyau en fonte porte à son extrémité supérieure un tube en cuivre dont l'autre extrémité a libre jeu et porte le siège de la soupape qui est fermée par un cône ; on règle la position de ce cône à l'aide de la tige, de façon que la soupape se trouve fermée juste au moment où le tuyau en cuivre possède la température de la vapeur.

Dès qu'il entre de l'eau de condensation dont la température est plus basse, le tuyau en métal se raccourcit et l'eau sort par l'ouverture qui s'est formée entre le cône et le siège de la soupape, et cela, jusqu'au moment où, par suite d'une nouvelle entrée de la vapeur, la dilatation et, par suite, la fermeture de la soupape se sont rétablies.

Pour mettre en marche, on retire en tournant le petit volant la tige qui porte le cône de la soupape, et on laisse pendant quelques instants sortir librement la vapeur pour que le tube en cuivre se dilate bien.

Ensuite, on rentre lentement la tige jusqu'à ce que la vapeur ne s'échappe plus et on ne touche plus à l'appareil.

Ces appareils ne présentent qu'un inconvénient ; comme la dilatation du tube dépend de la température de la vapeur et, par suite, de sa pression, ils ne fonctionnent avec toute régularité que lorsque cette vapeur possède toujours une pression à peu près régulière.

Le même principe sert de base au purgeur Kuhlmann représenté figure 45. La partie qui se dilate est composée de barres de deux mé-

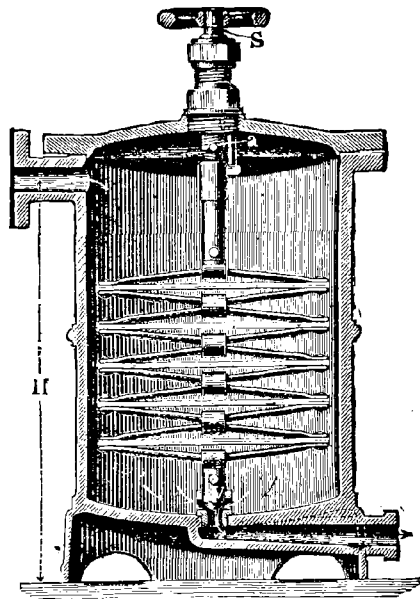


FIG. 43.

taux différents : l'un, à faible coefficient de dilatation, constitue les barres droites, tandis que les barres courbées sont en métal très dilatable. Ces différences de dilatation s'ajoutent et amènent l'allongement de l'ensemble qui a pour effet de produire la fermeture de la valve V; au contraire, cette valve, s'ouvre lorsque l'appareil se remplit d'eau de condensation moins chaude que la vapeur. Le volant S

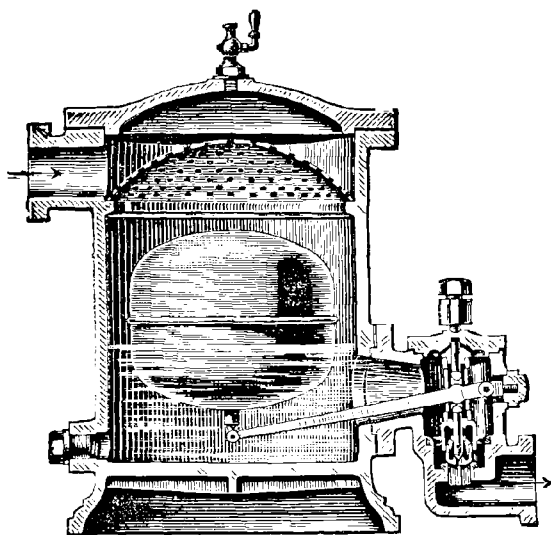


FIG. 46.

permet de régler l'appareil suivant la température de la vapeur. Parmi les purgeurs à flotteur, le purgeur Dehne se compose d'une sphère métallique creuse dont l'extrémité inférieure est reliée à la tige de commande d'une soupape à double siège, de telle façon qu'il suffit que le flotteur se soulève un peu pour que la soupape s'ouvre. L'eau de condensation qui s'accumule dans l'appareil et qui provient de la conduite de vapeur soulève le flotteur et ouvre la petite ouverture qui fermait son extrémité inférieure. La pression qui appuyait la soupape sur son siège se trouve ainsi annihilée, et la soupape se trouve soulevée par la pression agissant sur sa face inférieure en donnant passage à l'eau de condensation. L'écoulement continue jusqu'au moment où le niveau de l'eau a assez baissé pour que la petite ouverture soit à nouveau fermée par l'extrémité du flotteur.

Le même principe est utilisé dans le purgeur construit par la maison Schaeffer et Budenberg représenté figure 46; le flotteur est fixé à l'extrémité du grand bras d'un levier qui commande la soupape par son autre extrémité. L'ascension du flotteur a pour premier effet de déboucher un petit orifice de 6 millimètres de diamètre par lequel

l'eau de condensation peut déjà s'écouler. Si cet écoulement est insuffisant, l'eau, continuant à augmenter de niveau dans le purgeur, soulève encore celui-ci et soulève une soupape de grand diamètre par lequel l'eau s'écoule rapidement.

Il est à remarquer que, dans les appareils à flotteur, celui-ci doit

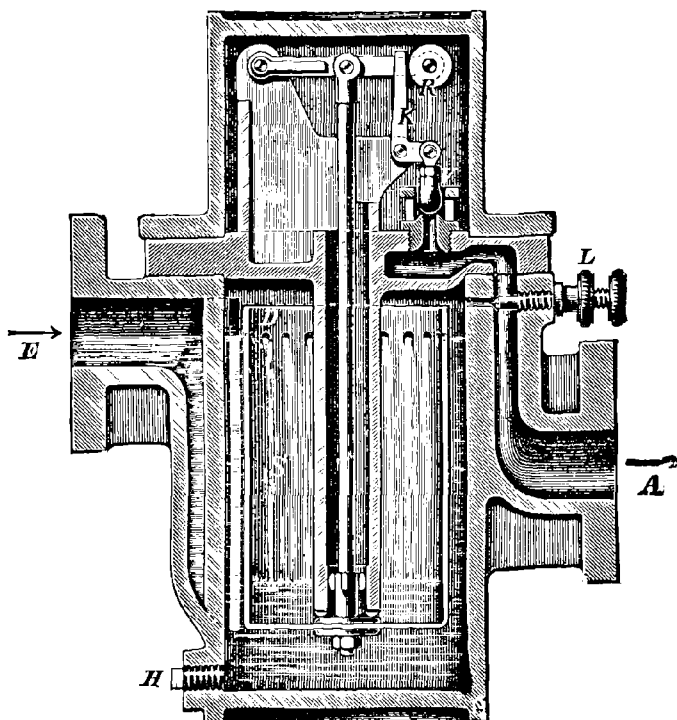


FIG. 47.

être d'autant plus grand que la pression de vapeur est plus élevée, de façon à conserver toujours une force ascensionnelle suffisante. Le fonctionnement de la soupape de décharge dépend toujours des faibles variations du niveau de l'eau dans le purgeur. En outre, le flotteur doit toujours rester parfaitement étanche, ce qui n'est pas toujours le cas. Pour obvier à ces inconvénients, on a eu recours à l'emploi des flotteurs ouverts.

Dans les purgeurs de ce genre, l'enveloppe contenant le flotteur se remplit d'abord d'eau et soulève celui-ci. Le niveau continuant à

s'élever, l'eau pénètre dans le flotteur qui est ouvert à sa partie supérieure. Le premier mouvement ascendant du flotteur a pour effet de fermer la valve de décharge de l'eau de condensation ; lorsqu'il retombe en raison de l'eau qui l'emplit, le poids de celle-ci ouvre à nouveau cette valve, et l'eau de condensation est expulsée en raison de la pression de vapeur régnant dans l'appareil.

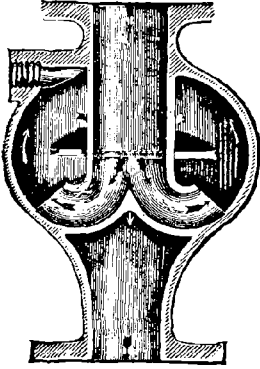


FIG. 48.

Il existe de très nombreux appareils utilisant ce principe, mais nous ne décrivons que celui de la maison Koertling (*fig. 47*). L'eau entre par E et emplit peu à peu l'appareil ; le flotteur porte près de son rebord supérieur un certain nombre de trous D par lesquels l'eau arrive d'une façon uniforme et de tous les côtés dans le flotteur qui, une fois rempli jusqu'à une certaine hauteur, descend en entraînant le galet R. Ce galet, en descendant, décrit un arc de cercle et exerce

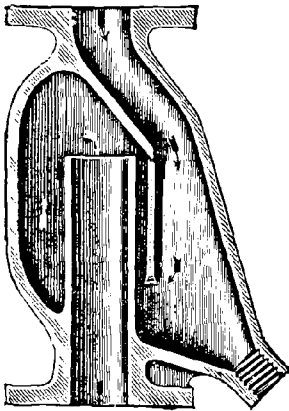


FIG. 49.

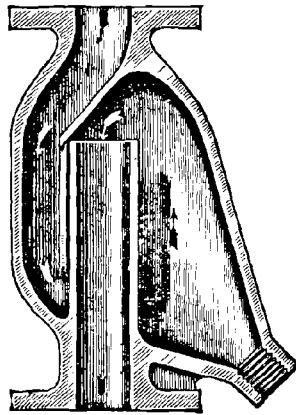


FIG. 50.

ainsi une pression sur le levier K qui commande la soupape de fermeture, maintenue jusque-là sur son siège et fermée par la pression régnant à l'intérieur du purgeur.

La soupape V étant alors ouverte, l'eau de condensation est chas-

sée par cette ouverture en raison de la pression qui règne dans le purgeur et s'écoule par A.

Nous bornerons ici la description des appareils de ce genre. Chaque constructeur possède ses modèles particuliers, qui tous dérivent des modèles types qui viennent d'être décrits. Dans le choix d'un purgeur, on doit tenir compte de la simplicité des organes, les réparations étant d'autant plus fréquentes et plus onéreuses que l'appareil est plus compliqué.

Les purgeurs sont souvent combinés avec un séparateur d'eau ou sécheur de vapeur, qui a pour effet de séparer la vapeur des particules d'eau qu'elle entraîne mécaniquement. Ces appareils, qui affectent les formes les plus variées, ont pour effet de changer brusquement la direction de la vapeur, de manière que les particules

liquides viennent se briser et se rassembler sur une paroi, tandis que la vapeur ainsi séchée continue à circuler dans la conduite. L'eau se rassemble à la partie inférieure de l'appareil, d'où elle est envoyée à un purgeur qui la laisse écouler sans perte de vapeur (*fig. 44*).

Les figures 48 à 50 montrent quelques modèles de sécheurs, qui peuvent être placés indifféremment sur des canalisations horizontales ou verticales, l'appareil étant toujours disposé de manière à ce que l'eau de condensation s'écoule par le point le plus bas.

Lorsqu'il est nécessaire de sécher la vapeur d'une façon plus complète ou que sa vitesse n'est pas suffisante pour que le mode de séchage ci-dessus soit efficace, on a recours à un sécheur Koerting contenant une double tôle perforée et inclinée, à travers laquelle doit passer la vapeur (*fig. 51*). La section totale de passage de la vapeur est suffisante pour que sa pression ne soit pas sensiblement diminuée.

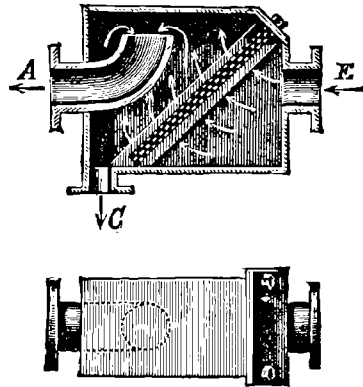


FIG. 51.

APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE

L'électricité jouant un rôle de plus en plus grand, soit qu'elle serve uniquement à assurer l'éclairage, soit qu'elle soit employée comme mode de transport de l'énergie mécanique, nous dirons aussi quelques mots de l'appareillage électrique.

Les installations électriques faites dans les usines de produits chimiques doivent tout d'abord satisfaire aux conditions générales de sécurité au point de vue de l'isolement des fils et des appareils. En outre, elles doivent fréquemment présenter des dispositions spéciales en vue d'assurer la conservation de ces appareils en bon état, malgré les influences extérieures (humidité, vapeurs acides, émanations sulfhydriques, etc.) et présenter en plus la plus grande sécurité possible au point de vue des dangers d'incendie, surtout dans les locaux où l'on manipule des matières inflammables et volatiles (éther, benzine, essences, etc.).

Ce n'est qu'en assurant parfaitement toutes ces conditions de sécurité et de bon fonctionnement que l'on peut espérer retirer de l'électricité tous ses avantages.

Les différents appareils accessoires (coupe-circuit, interrupteur, etc.) sont de modèles différents suivant le personnel appelé à les manier. Dans la salle des machines, où ils ne sont qu'à la disposition d'un personnel expérimenté, les contacts peuvent être libres et les parties amenant le courant peuvent rester directement accessibles. Au contraire, dans les appareils qui sont à la disposition d'un personnel inexpérimenté, toutes les parties participant à la conduction du courant doivent être recouvertes, de façon que les ouvriers soient préservés de tout danger provenant d'un contact direct avec ces parties.

On doit disposer des coupe-circuits à fil fusible à toutes les ramifications correspondant à une diminution de section des fils. Ces coupe-circuits doivent être pourvus d'indications déterminant les locaux ou les groupes de lampes qu'ils commandent, et on doit toujours les placer dans une position telle qu'ils soient facilement accessibles à la

main et à hauteur d'homme. Les coupe-circuits fixés au plafond et dont l'accès est rendu difficile par des courroies d'appareils en marche, etc., sont une cause très fréquente de graves accidents; aussi doit-on les proscrire absolument. Lorsque le court-circuit est placé à plus d'un mètre du point d'origine du branchement, le fil qui y arrive doit posséder la même section que la canalisation principale.

Les conducteurs doivent être fixés sur le tableau de distribution après que celui-ci a déjà été mis en place sur la paroi qui le soutient. Les contacts doivent toujours rester accessibles et faciles à contrôler et à démonter.

Dans les usines de produits chimiques, il est avantageux de placer les tableaux de distribution à l'extérieur des locaux eux-mêmes, dans des boîtes en bois ou en fer.

Les circuits dans lesquels circulent plus de 6 ampères et ceux sur lesquels sont placées des lampes à arc doivent être munis d'interrupteurs bipolaires. On évite ainsi tout danger lorsqu'il s'agit de remplacer les charbons des lampes situées dans un local dont le sol humide constitue une mise à la terre.

Les commutateurs et les interrupteurs de tout genre destinés à être placés dans les locaux doivent être protégés de toute introduction de gaz, de vapeurs, de liquides et de tous chocs par une enveloppe en fonte. Cette même enveloppe évite toute projection d'étincelles lors du fonctionnement des appareils. Le mode de protection doit être choisi en raison directe des causes de détérioration auxquelles les appareils sont exposés, et l'on ne peut établir de règles générales à ce sujet. Voici à ce sujet les prescriptions établies par l'Association des Ingénieurs allemands :

LOCAUX SECS NE RENFERMANT PAS DE MATIÈRES FACILEMENT INFLAMMABLES. — Dans les locaux de ce genre, les appareils divers, commutateurs ou interrupteurs, seront mis à l'abri de toute détérioration par une enveloppe en fonte. Cette enveloppe n'a pas besoin d'être hermétiquement close, puisqu'il n'y a à craindre ni explosion ni pénétration d'eau dans l'appareil. Les conducteurs peuvent être fixés sur des poulies en porcelaine ou placés dans des tubes suivant leur grosseur et suivant les dispositions particulières du local.

LOCAUX RENFERMANT DES MATIÈRES FACILEMENT INFLAMMABLES, QUOIQUE NON EXPLOSIBLES. — Parmi les locaux de ce genre, citons les scieries,

les salles d'expédition où l'on manipule le foin, la paille, les fibres de bois, etc. Les coupe-circuits, interrupteurs, etc., doivent être protégés par une enveloppe en matière isolante. Ces enveloppes résistant mal aux dégradations d'ordre mécanique, on a recours à des enveloppes en métal recouvertes d'un enduit ou d'un revêtement isolant. Les

appareils peuvent être de même modèle que ceux du paragraphe précédent.

LOCAUX RENFERMANT DES SUBSTANCES EXPLOSIBLES. — On ne doit placer ni coupe-circuit ni commutateur dans les locaux de ce genre. Si cette installation est absolument inévitable, on emploiera des appareils du modèle adopté dans les mines grisouteuses. Les commutateurs, interrupteurs et coupe-circuits doivent être hermétiquement enfermés dans les boîtes en fonte très résistantes. En outre, la fusion d'un fil de coupe-circuit ne doit aucunement entraîner celle des autres. Les prises de courant à fiche doivent être munies d'une rainure empêchant de retirer la fiche aussi longtemps que le courant passe dans l'appareil.

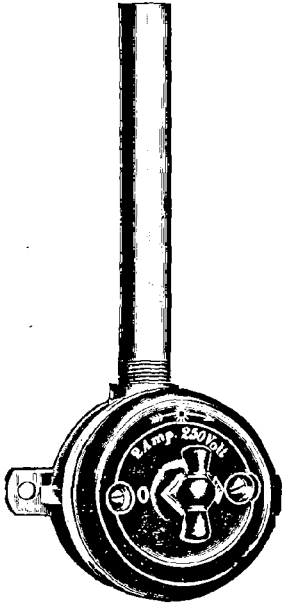


FIG. 52.

LOCAUX HUMIDES. — Lorsqu'on s'est assuré qu'un local est humide, ne serait-ce que de temps à autre, il est préférable de choisir des appareils de modèle approprié, de manière à éviter toute réparation ultérieure. Il en est de même en ce qui concerne les interrupteurs placés au dehors à l'air libre. L'isolement des commutateurs doit être aussi bon que celui de la canalisation; les modèles de ce genre sont munis d'un tube en fer vissé sur l'enveloppe en fonte, tube dans lequel passent les câbles amenant le courant (fig. 52). L'introduction des câbles peut également s'effectuer par l'un des dispositifs des figures 53 ou 54.

LOCAUX AVEC VAPEURS ACIDES. — On emploiera les mêmes appareils que dans les locaux humides; on les protégera d'une attaque prématurée en recouvrant fréquemment d'une peinture ou d'un enduit préservateur. Dans des cas spéciaux, les enveloppes protectrices

pourront être confectionnées en plomb durci ou en tout autre métal résistant bien à l'action des acides.

Les prises de courant à fiches sont assez employées, en raison de la

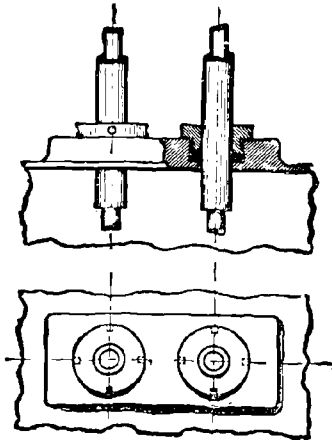


FIG. 53.

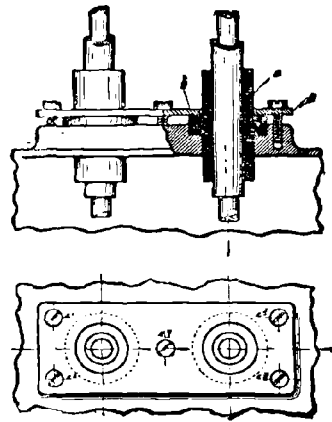


FIG. 54.

facilité qu'elles présentent lorsqu'il s'agit d'une lampe, d'un moteur, d'un appareil de chauffage, que l'on veut pouvoir changer de place ou

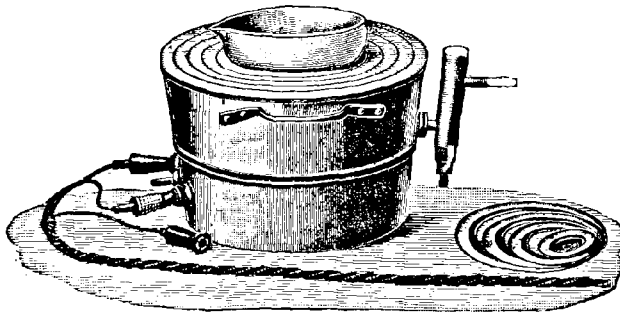


FIG. 55.

facilement remplacer par un appareil différent. Les fils souples amenant le courant peuvent être introduits dans un tube métallique flexible, ce qui les protège de toute dégradation et de l'action de l'eau, des acides, etc.

Les lampes à incandescence se construisent en un grand nombre de

modèles protégés des chocs et des vapeurs acides avec une cloche en verre ou en réseau de fils métalliques. Ces dispositions permettent d'éviter complètement tout danger d'incendie de ce chef.

Les appareils de chauffage par l'électricité ont été l'objet d'importantes améliorations dans

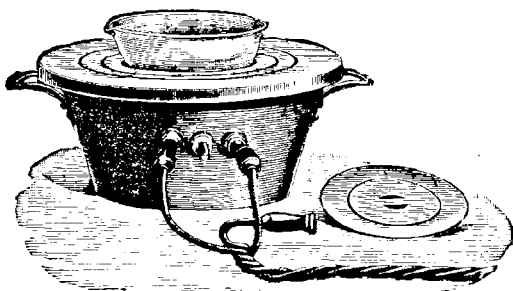


FIG. 56.

le cours de ces dernières années. La consommation de courant a été considérablement diminuée et, en raison de leurs nombreux avantages, ces appareils sont destinés à se répandre de plus en plus. On utilise généralement l'élévation de tem-

pérature produite par le passage du courant dans des fils métalliques (nickel ou platine) de section convenable. D'autres appareils utilisent la semi-conductibilité d'un mélange d'argile et de graphite en granules ; cette matière étant très réfractaire permet d'obtenir des températures très élevées ; elle est, en outre, peu coûteuse et inattaquable à la plupart des agents chimiques. La figure 55 représente un bain-marie ; la figure 56, un bain de sable chauffés électriquement. Nous croyons inutile d'insister sur les avantages et la sécurité que présentent ces appareils pour l'évaporation, la distillation, etc., des liquides volatiles et inflammables si employés en chimie organique.

CHAPITRE I

PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE

Toutes les fois que l'on a besoin de force motrice, la question se pose de savoir comment l'on doit l'obtenir, quelles sont les dimensions du moteur à employer et quels seront les frais de production de cette force motrice.

La nature nous offre des sources d'énergie très importantes, l'eau et le vent, que nous savons depuis longtemps utiliser aux usages les plus divers. Mais cette utilisation s'effectue rarement au service des industries chimiques, car ces sources d'énergie dépendent beaucoup des circonstances climatériques et sont trop capricieuses pour pouvoir être utilisées régulièrement. Ceci est surtout vrai dans le cas du vent.

Il en est de même, quoique à un degré moindre, des chutes d'eau. Elles sont souvent situées dans des régions défavorables sous beaucoup de rapports à l'installation d'une fabrique de produits chimiques. En outre, il n'est pas rare que la quantité d'eau disponible soit très variable, ce qui cause des à-coups ou même des arrêts complets dans la marche de l'installation.

L'emploi de la vapeur est la seule solution qui soit indépendante de toutes ces conditions, et c'est pour cela qu'on a le plus souvent recours à elle. En outre, la vapeur fournit un moyen de chauffage extrêmement commode et dont peu d'industries chimiques pourraient se dispenser. Mais il n'est pas impossible d'employer simultanément une force hydraulique et la vapeur ou de n'avoir recours à cette dernière que lorsque l'eau vient à manquer.

*
* *

Les chaudières, ou générateurs de vapeur, sont les appareils qui nous fournissent la vapeur. Ce sont, d'une façon générale, des récipients clos, partiellement remplis d'eau et disposés pour pouvoir être chauffés de manière à transformer cette eau en vapeur.

On a donné aux générateurs de vapeur les formes les plus diverses ;

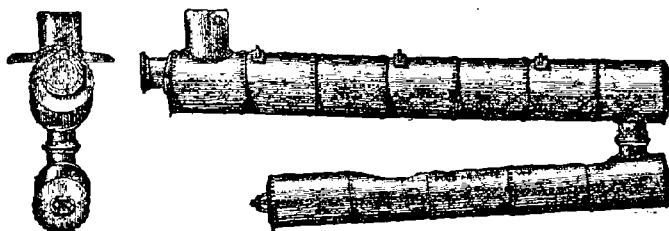


FIG. 57.

il n'est pas dans notre intention de les décrire toutes ici, car un grand nombre d'entre elles ont été complètement abandonnées. Nous décrivons seulement celles que l'on emploie le plus souvent aujourd'hui, spécialement dans l'industrie chimique. Ce sont les chaudières cylindriques avec ou sans bouilleurs, les chaudières tubulaires et les systèmes issus de la combinaison de ces deux types.

Les chaudières cylindriques sont de gros cylindres fermés à leurs deux extrémités par des fonds plus ou moins bombés. Ces chaudières présentent le double désavantage d'occuper beaucoup de place et de ne posséder qu'une faible surface de chauffe, c'est-à-dire une faible surface par laquelle peut s'effectuer l'échange de chaleur entre les gaz chauds du foyer et l'eau qu'elles contiennent. Pour augmenter la surface de chauffe, on place souvent plusieurs cylindres semblables l'un au-dessus de l'autre, ou bien l'on dispose dans leur intérieur des tubes pour le passage des gaz chauds.

La première combinaison appelée chaudière à bouilleurs (*fig. 57*)

n'est plus guère employée, car elle exige encore trop de place, eu égard à la surface de chauffe qu'elle possède.

Les chaudières tubulaires sont des chaudières cylindriques traversées de part en part par

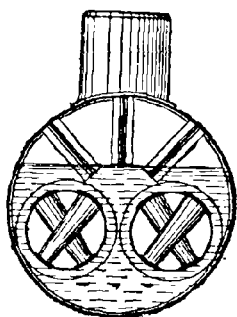


FIG. 58.

un ou deux tubes dont l'axe est parallèle à celui de la chaudière principale. Ces tubes sont généralement à section circulaire ou très analogue à cette forme (fig. 58). On emploie parfois des tubes à section elliptique dont la résistance est aug-

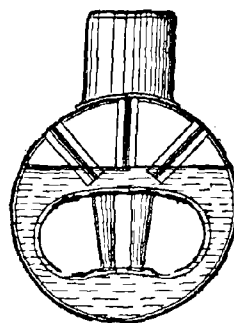


FIG. 59.

mentée par des tubes placés transversalement et à l'intérieur (fig. 59).

Le système proposé par Galloway a pour but d'augmenter la surface de chauffe, les dimensions extérieures de la chaudière restant les mêmes. On obtient ce résultat en donnant aux tubes une surface ondulée (fig. 59 bis et 60). Ce tube peut être unique et de grand diamètre; il est placé excentriquement par rapport à la chaudière elle-même, ce qui permet d'atteindre

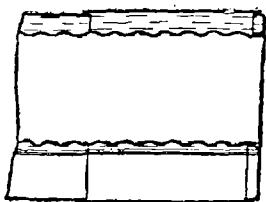


FIG. 59 bis.

plus facilement les différentes parties de l'intérieur de celle-ci.

Les chaudières multitubulaires peuvent être considérées comme formées par la juxtaposition d'un grand nombre de chaudières cylindriques

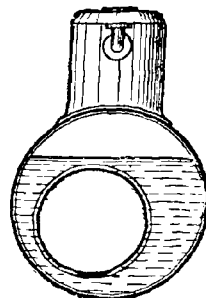


FIG. 60.

de petites dimensions débouchant dans un même collecteur de vapeur (fig. 61). Elles possèdent une très grande surface de chauffe pour un faible emplacement et sont capables de vaporiser en un temps donné beaucoup plus d'eau que les chaudières précédemment décrites.

Ces tubes ont de 25 à 110 millimètres de diamètre extérieur et sont placés verticalement ou légèrement inclinés sur l'horizontale. Ils

réunissent ordinairement deux chambres pleines d'eau et sont extérieurement environnés par les gaz chauds (*fig. 61*). Dans d'autres cas, l'une de leurs extrémités est libre, l'autre débouchant dans une

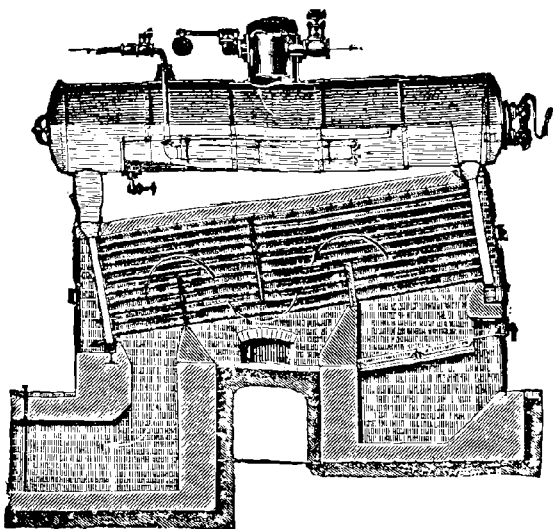


FIG. 61.

chaudière pleine d'eau. Enfin, il peut n'y avoir aucune chambre d'eau, et les différents tubes peuvent être reliés de telle façon qu'ils forment un tube continu très long placé dans le foyer.

Les générateurs à tubes légèrement inclinés sur l'horizontale et réunissant deux chambres pleines d'eau sont de beaucoup les plus répandus. Il existe un grand nombre de types

divers qui ne se différencient que par la disposition du joint adopté pour permettre de nettoyer les tubes, de les retirer et de les changer.

Les joints sont de deux sortes, suivant qu'ils sont placés à l'intérieur ou à l'extérieur de la chaudière. Dans le premier cas, ils sont maintenus par des boulons qui doivent résister à la pression totale de la vapeur. Dans le deuxième cas, la pression de la vapeur tend à appliquer la partie formant joint sur les parois de la chaudière.

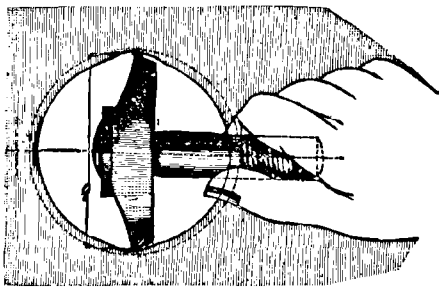


FIG. 62.

Ce dernier système est nettement préférable, car on ne peut jamais se mettre à l'abri de la rupture des boulons. La plaque formant joint peut s'introduire soit par la partie extérieure, soit par l'intérieur; la première façon de faire est la plus commode et la plus rapide.

La figure 62 représente le modèle de joint adopté par Simonis et Lanz. Les ouvertures percées dans la paroi de la chaudière sont pourvues de deux encoches placées aux deux extrémités d'un même diamètre b ; après avoir introduit la rondelle formant joint, on

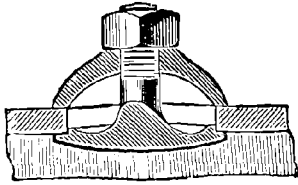


FIG. 63.

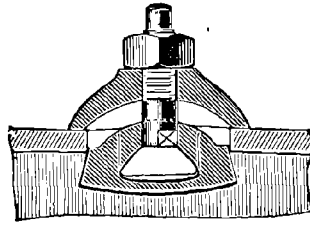


FIG. 64.

la fait tourner de 90° et on la maintient en place à l'aide d'un étrier sur lequel un écrou vient prendre son point d'appui.

Le joint intérieur de Goehrig et Lenck se compose de deux par-

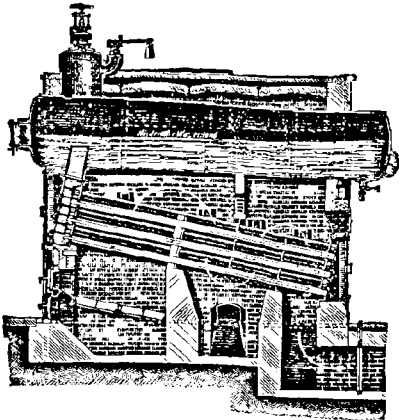


FIG. 65.

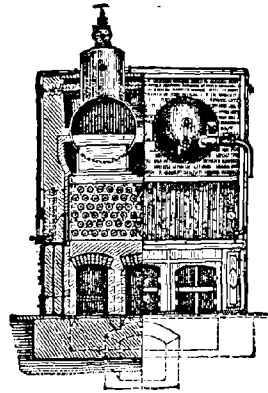


FIG. 66.

ties (fig. 63); la partie intérieure est introduite par une ouverture ronde ou ovale ménagée dans la paroi de la chaudière; le joint est rendu étanche par l'interposition d'une matière appropriée. La figure 64 représente un point analogue dans lequel cette interposition de matière étrangère n'est pas nécessaire; le contact direct des deux parties métalliques suffit à assurer un joint parfaitement étanche.

La chaudière supérieure ne doit jamais être placée dans le foyer, mais au-dessus de la maçonnerie, car la surface de chauffe que l'on peut obtenir par ce moyen ne possède jamais une activité comparable à celle des tubes bouilleurs. C'est à tort qu'on la prend souvent en considération, lors du calcul de cette surface de chauffe.

Ce qui précède s'applique à toutes les chaudières tubulaires; cependant nous décrirons encore quelques types de chaudières de ce

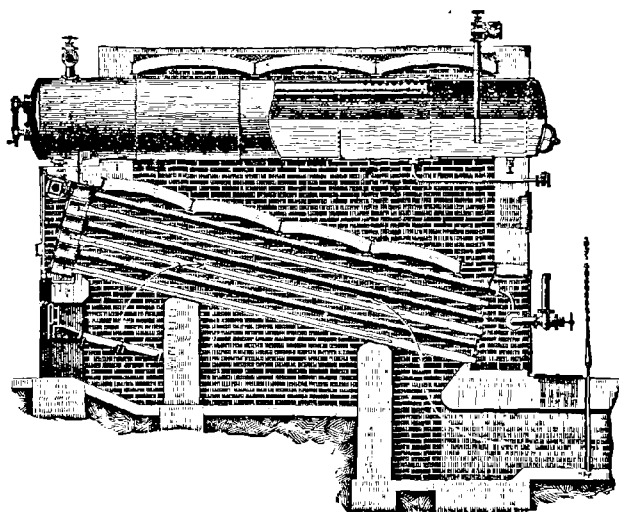


FIG. 67.

genre. Les figures 65 et 66 représentent un générateur dans lequel le faisceau du tube n'est relié que par une de ses extrémités au collecteur d'eau placé en avant.

L'autre extrémité est libre et obturée par un tampon qui facilite le nettoyage des tubes. L'eau doit parcourir chacun des tubes dans les deux sens; aussi place-t-on dans l'axe de chacun d'eux un tube de plus petit diamètre qui régularise cette double circulation. D'autres constructeurs (*fig. 67*) remplacent ce tube intérieur par une lame de tôle recourbée qui sépare l'eau et la vapeur contenues dans chaque tube.

Les chaudières tubulaires à deux chambres d'eau et tubes bouilleurs verticaux ont trouvé un accueil beaucoup moins favorable que les chaudières à une seule chambre d'eau dites chaudières Field. Ces

dernières sont surtout employées pour des petites surfaces de chauffe.

Dans les chaudières tubulaires du dernier groupe qui ne possèdent aucune chambre d'eau, le mélange d'eau et de vapeur s'élève dans les tubes. Cette dernière vient se dégager dans la chaudière supérieure, tandis que l'eau est à nouveau introduite, à l'autre extrémité du tube continu, établissant ainsi une circulation continue. Les différents

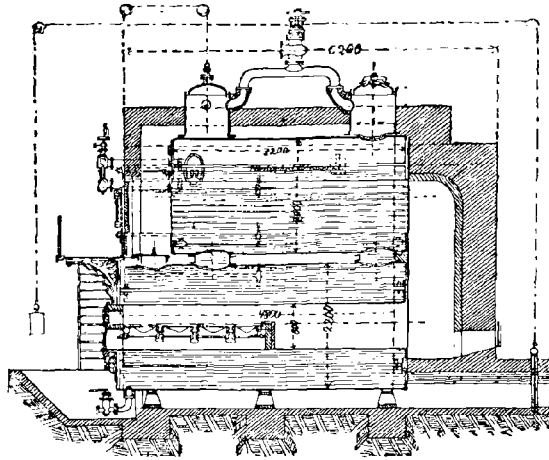


FIG. 68.

types de générateurs de ce genre sont surtout caractérisés par le mode de jonction des tubes les uns aux autres.

Il existe un si grand nombre de générateurs provenant de la combinaison des types précédents que nous ne pouvons décrire ici que les principaux. Ces combinaisons sont issues du désir de réunir les avantages des chaudières cylindriques et des chaudières tubulaires, tout en évitant les inconvénients des unes et des autres.

Fischbein et Weinlig ont construit un générateur composé d'une chaudière horizontale à bouilleurs, surmontée d'une chaudière tubulaire (fig. 68). Les deux chaudières sont réunies par de larges tubes. La vapeur formée dans les bouilleurs inférieurs doit traverser une colonne d'eau assez longue avant de parvenir dans la chaudière supérieure; il s'ensuit qu'elle retient une proportion élevée d'eau mécaniquement entraînée. En outre, le tartre et les dépôts boueux

qui s'accablent dans la chaudière tubulaire sont difficiles à évacuer.

Weinlig a cherché à éviter ces inconvénients en réservant dans chaque chaudière un espace où la vapeur puisse se rassembler. Mais cette construction donne lieu à de nouveaux inconvénients provenant de la difficulté qu'il y a à isoler le collecteur inférieur de vapeur de l'action directe de la flamme. Il en résulte une cause des fréquentes réparations qui a empêché ce système d'être adopté couramment.

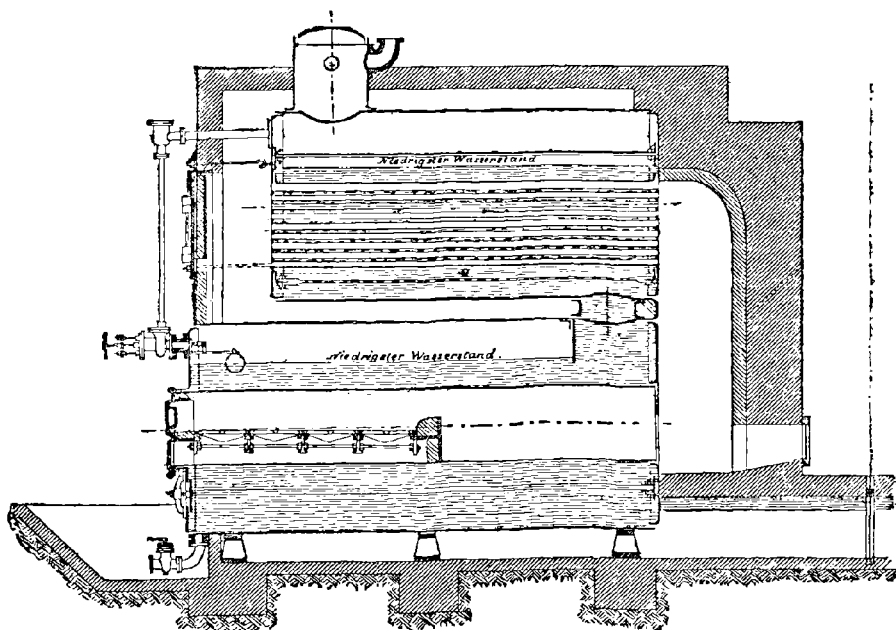


FIG. 69.

Piedbœuf et Berninghaus ont évité cet inconvénient par un mode de construction approprié. Le premier (*fig. 69*) ne réunit les deux chaudières qu'à leur extrémité postérieure et dispose en avant du tube de jonction une paroi en tôle plongeant d'une certaine longueur dans l'eau de la chaudière cylindrique. Il obtient ainsi deux espaces distincts, l'un pour la vapeur, l'autre pour l'eau. La vapeur est conduite par un tube particulier, munie d'une soupape à flotteur dans le dôme de vapeur de la chaudière tubulaire placée au dessus.

Berninghaus obtient le même résultat que Piedbœuf en inclinant fortement la chaudière cylindrique.

En outre, la chaudière tubulaire est surmontée d'un collecteur de vapeur commun, de façon que la vapeur ait un long parcours à effectuer et qu'elle puisse se sécher aussi complètement que possible avant de sortir du générateur. Ces deux derniers modèles sont capables de vaporiser un grand volume d'eau en peu de temps et sont encore construits actuellement en raison de leurs avantages.

La chaudière Mac Nicol (*fig. 70*) est une combinaison totalement différente des chaudières cylindriques et tubulaires. Elle comprend un faisceau de tubes et deux chaudières cylindriques superposées,

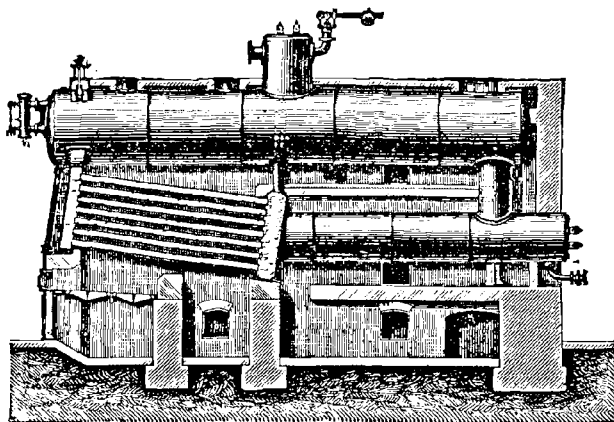


Fig. 70.

l'une d'elles constituant le prolongement de la chambre d'eau à laquelle aboutissent les tubes.

La circulation d'eau est extrêmement active dans les chaudières de ce type; le grand volume d'eau permet d'obtenir une vaporisation régulière, même dans le cas où la consommation est très variable. Enfin la grande surface de vaporisation permet d'obtenir de la vapeur toujours sèche. En raison de ces multiples avantages, ce système est très répandu et peut être avantageusement recommandé pour l'industrie chimique.

Il existe un grand nombre de dispositifs combinant l'emploi d'une chaudière cylindrique avec une chaudière tubulaire verticale. Ces chaudières peuvent être employées pour de hautes pressions et possèdent généralement un très bon rendement calorifique.

Nous décrivons encore le générateur Nielausse, très apprécié pour sa puissance de vaporisation et son grand rendement.

Le faisceau tubulaire (fig. 71) se compose d'un certain nombre

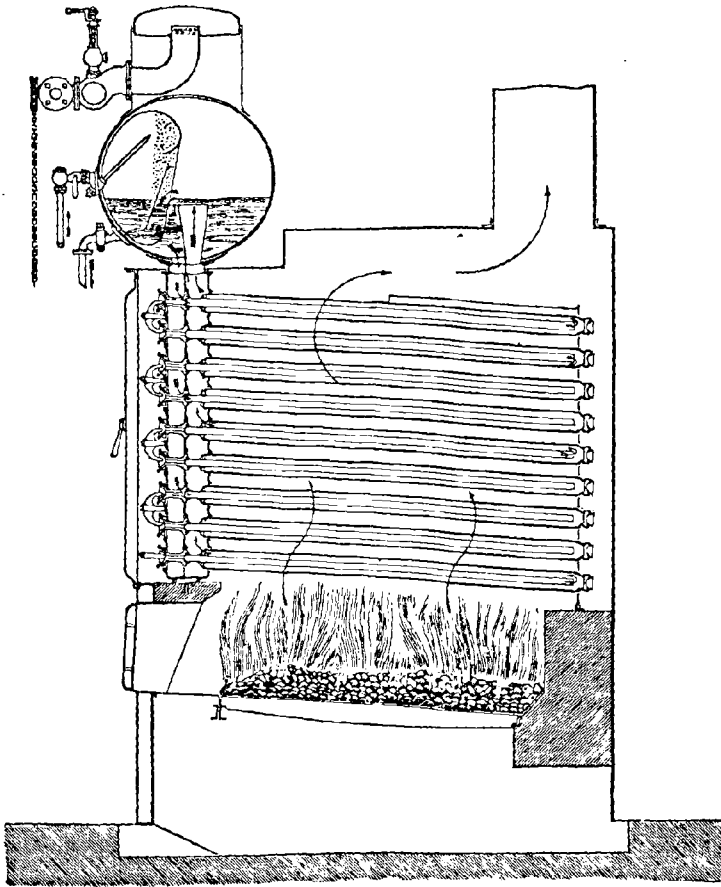


FIG. 71.

d'organes vaporisateurs comprenant chacun un tube bouilleur et un tube intérieur ou de circulation. Le tube bouilleur est en acier doux ; il est fermé à la partie arrière par un bouchon démontable qui se visse à l'extrémité fileté conique du tube. Le tube intérieur, supportant la même pression à l'intérieur qu'à l'extérieur, n'éprouve aucune fatigue : il est fabriqué en tôle mince.

L'eau arrive par le tube intérieur et se répand dans l'intervalle annulaire compris entre les deux tubes; la vapeur formée au contact des gaz du foyer s'élève verticalement dans une conduite spéciale et vient se rassembler dans le récepteur d'eau et de vapeur. La circulation d'eau est continue et très active, ce qui assure une puissance de

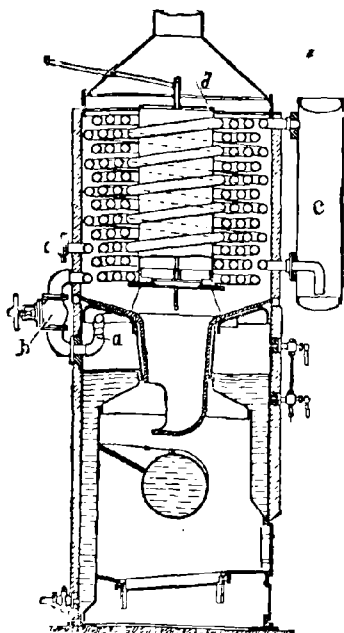


FIG. 72.

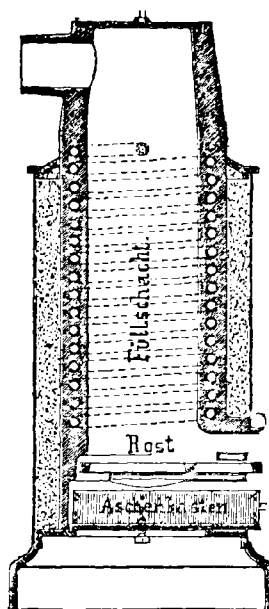


FIG. 73.

vaporisation considérable. Les tubes sont libres à une de leurs extrémités, ce qui leur permet de se dilater librement. En outre, tous les points sont obtenus au moyen de cônes métalliques et sans interposition de matières quelconques. Ces deux dernières conditions sont une sûre garantie du bon fonctionnement de chaudières de ce type.

Le générateur Schmidt est intéressant pour l'industrie chimique en ce sens qu'il permet de surchauffer la vapeur obtenue jusqu'à 350°.

Le surchauffeur (*fig. 72*) est combiné avec une chaudière verticale à bouilleur transversal fournissant de la vapeur très humide. Il se compose lui-même de plusieurs tubes assemblés bout à bout et enroulés en spirales comme un serpentín. Ce serpentín comprend deux parties,

l'une servant à réchauffer, l'autre à surchauffer la vapeur. Un tube annulaire percé de trous *a* est disposé dans l'espace plein de vapeur et dirige celle-ci dans les deux spires inférieures du serpentin; une valve *b* interposée sur cette conduite permet d'interrompre à volonté le passage de la vapeur. La vapeur arrive ensuite dans le vaporisateur *c* placé par côté et pénètre dans le surchauffeur proprement dit par sa partie supérieure; elle est alors exposée à l'action des gaz chauds ascendants et circule en sens inverse. Cette construction particulière permet d'obtenir de la vapeur possédant une température supérieure à celle des gaz qui s'échappent à la partie la plus élevée du surchauffeur. La température de la vapeur surchauffée peut être réglée en faisant varier la quantité de gaz circulant dans le réchauffeur au moyen du registre commandé par *d*.

Il n'est pas douteux que cet appareil ne trouve de fréquentes applications, toutes les fois que l'on a besoin de vapeur surchauffée, dans la distillation des corps à point d'ébullition élevée, par exemple.

D'autres modèles de surchauffeurs empruntent la vapeur toute formée à un générateur déjà existant. Tel est, par exemple, le surchauffeur Bolze (*fig. 77*), qui se compose d'un fort cylindre en fonte coulé autour d'un tube enroulé en spirale. La vapeur est introduite par la partie supérieure de cette spirale et parcourt successivement toutes ses spires pour s'échapper à la partie inférieure. L'espace ménagé au milieu du cylindre est rempli de coke dont on règle la combustion à l'aide du registre inférieur; la fumée est évacuée par le haut et à l'opposé de ce registre. La colonne de coke incandescent étant en contact direct avec les parois du cylindre les porte à une température élevée qui est transmise directement à la vapeur.

Cet appareil peut être également employé pour surchauffer l'eau, l'air ou les gaz; il présente les avantages d'un bon rendement et d'une grande durée.

*
* *

Pour déterminer le système de chaudière qui convient le mieux à une usine de produits chimiques, il est nécessaire de connaître avant tout son mode de travail.

Si la majeure partie de la vapeur produite est destinée au fonctionnement de moteurs, on emploiera avantageusement les chaudières tubulaires. Au contraire, si la plus grande partie de la vapeur doit servir au chauffage ou si la consommation de vapeur est très variable, on leur préférera les chaudières cylindriques. Dans le cas où l'on tiendrait, pour une raison ou pour une autre, à employer des chaudières tubulaires, on doit les munir de réservoirs d'eau et de vapeur d'une grande capacité (1^m,2 à 1^m,6 de diamètre), de manière à avoir toujours un grand volume d'eau et de vapeur à sa disposition.

La qualité de l'eau d'alimentation dont on dispose joue également un grand rôle pour le choix du générateur à adopter. L'eau employée pour l'alimentation des chaudières tubulaires doit être assez pure pour ne pas donner de dépôts de tartre dans les tubes ou, tout au moins, n'en donner que très peu. Dans le cas contraire, il est indispensable de la purifier au préalable, purification qui n'offre que des avantages, même dans le cas où il s'agit d'alimenter des chaudières cylindriques.

Une autre question qui n'est pas moins importante est celle de savoir quel est le système de générateur qui utilise le mieux la chaleur entraînée par les gaz du foyer.

On n'est pas encore parvenu à utiliser aussi bien cette chaleur pour la production de vapeur à l'aide des chaudières tubulaires qu'on ne peut le faire avec les chaudières cylindriques installées dans de bonnes conditions.

Les gaz envoyés à la cheminée possèdent toujours une température plus élevée dans le cas des chaudières tubulaires que dans l'autre cas. On remédie à cet inconvénient en plaçant dans les carneaux des appareils dits économiseurs, qui servent à échauffer fortement l'eau destinée à l'alimentation en utilisant l'excès de chaleur des gaz envoyés à la cheminée. Ces appareils permettent de réaliser une notable économie de charbon.

Un autre avantage des chaudières tubulaires est de permettre d'obtenir de la vapeur à haute pression. Ce même avantage peut être confié aux chaudières cylindriques en les construisant avec des tôles ondulées comme le font certains constructeurs ; de telles chaudières bien construites et bien dirigées peuvent travailler à 10 et 12 atmosphères.

Dans le choix d'un générateur, on ne doit pas oublier de tenir compte que les explosions de chaudière tubulaires sont beaucoup moins dangereuses que celles des chaudières cylindriques. Mais, d'autre part, la conduite d'une chaudière tubulaire exige un personnel beaucoup plus expérimenté et beaucoup plus attentif que celle des chaudières de l'autre système.

*
* *

Le choix d'un foyer parfaitement approprié au genre de combustible dont on dispose joue également un rôle très important et même décisif pour l'adoption de l'un ou de l'autre système de générateur de vapeur.

La nécessité d'utiliser aussi parfaitement que possible la chaleur dégagée par la combustion a amené la création d'un très grand nombre de foyers présentant des dispositions différentes et plus ou moins heureuses, sans que le but poursuivi ait été pleinement atteint jusqu'ici.

Les foyers peuvent se grouper suivant l'état physique du combustible employé : combustibles solides (charbon, bois, tourbe), liquides (pétrole) ou gazeux (gaz de gazogène).

Les différentes espèces de charbons (houille, anthracite, lignites) et leur état de division (gros fragments, menus, poussier) influent considérablement sur leurs propriétés particulières, dont on doit tenir compte pour réaliser une combustion aussi complète que possible.

Pour obtenir ce résultat, on doit observer les conditions essentielles suivantes :

1° Le combustible à brûler doit d'abord être amené de l'état solide ou liquide à l'état gazeux. Dans la plupart des cas, cette transformation donne lieu simultanément à la production de gaz riches en carbures d'hydrogène et renfermant une petite quantité d'oxyde de carbone (processus de distillation) et, d'autre part, à la formation de gaz dans lesquels l'oxyde de carbone prédomine et contenant, en outre, une petite quantité de gaz carburés qui brûlent avec une flamme éclairante (processus de gazéification). On doit, de plus, tenir compte de la pureté du combustible ou de sa richesse en matières étrangères donnant lieu à la production de scories ;

2° La quantité de gaz produits doit correspondre à chaque instant aux

besoins du moment, et l'on ne doit pas la laisser devenir trop considérable.

3° L'accès de l'air atmosphérique doit correspondre aussi exactement que possible à la quantité de gaz dégagés.

Si l'on produit plus de gaz qu'il n'arrive d'air, ces gaz sont entraînés dans la cheminée sans brûler; au contraire, si l'on introduit un excès d'air, celui-ci refroidit les gaz, et la quantité de chaleur entraînée par les gaz s'échappant par la cheminée est plus considérable. Dans les deux cas, on éprouve une perte sensible.

4° Les gaz volatils produits doivent être mélangés aussi régulièrement que possible avec l'air atmosphérique et exposés dans cet état à une température assez élevée, ou à une source de chaleur assez intense, pour qu'ils puissent s'enflammer.

Si le foyer n'est pas disposé de telle façon que ces différentes conditions soient simultanément réalisées, il survient inévitablement des irrégularités dans la marche de la combustion.

La solution la plus rationnelle consiste à gazéifier les combustibles dans un espace séparé et à diriger une quantité donnée de gaz dans une chambre à combustion, en même temps qu'un volume déterminé d'air, la chambre à combustion possédant une température telle que les gaz puissent s'enflammer et que la combustion se propage d'elle-même. Cette façon d'opérer n'est pas toujours praticable, notamment dans le cas du chauffage des chaudières. D'une part, les parois de métal baignées par l'eau abaissent considérablement la température des gaz et empêchent la combustion d'être complète. D'autre part, la combustion doit progresser dans le même sens que la consommation de vapeur. Comme le chauffeur juge de celle-ci d'après les indications du manomètre, il est nécessaire qu'il puisse également juger de la quantité de combustible disponible et augmenter ou diminuer celle-ci suivant son appréciation.

Ces conditions pourraient être remplies à la rigueur dans le cas des générateurs de vapeur, mais il en résulterait une augmentation de frais de premier établissement et de main-d'œuvre peu en rapport avec les avantages ainsi obtenus. Les gaz de gazogène étant très peu employés pour le chauffage des chaudières, nous ne ferons pas leur étude ici.

Les houilles se classent en houille grasse et houille maigre ou

anthraciteuse. Les houilles de la première catégorie sont mieux appropriées à la production de gaz pour l'éclairage que pour le chauffage; mais, comme elles forment un des meilleurs combustibles que l'on possède, on les emploie très fréquemment pour le chauffage. Cependant la combustion parfaitement rationnelle de ce combustible est très difficile, d'abord parce que les constituants volatils se dégagent à température peu élevée, et ensuite parce qu'ils ne brûlent pas

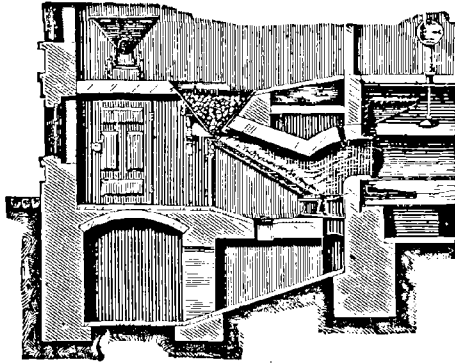


FIG. 74.

tous à la même température, mais qu'ils se décomposent facilement en donnant des produits incombustibles dans les conditions où ils prennent naissance.

Lorsque ces produits volatils ont abandonné le charbon, celui-ci est le plus souvent aggloméré et tend, ainsi que les scories, à obstruer la grille. La température devenant insuffisante, la distillation des carbures ne peut se continuer et, en outre, l'air atmosphérique n'arrive pas en quantité suffisante pour brûler le coke se trouvant sur la grille. Le problème qui se pose au constructeur est de trouver une forme de grille évitant ces inconvénients.

Pour éviter la formation de scories sur toute la grille et pour donner à l'air un accès suffisant, on construit depuis longtemps des grilles dans lesquelles le combustible progresse automatiquement, ce qui diminue d'autant le travail du chauffeur. Les grilles en escalier, les grilles inclinées et les grilles à décroassement automatique sont issues du même besoin. La figure 74 représente un foyer de ce genre.

Les grilles en marches d'escalier sont à recommander toutes les fois que la combustion nécessite un grand volume d'air, par exemple dans le cas des lignites humides. En raison de leur disposition, l'accès de l'air est très aisé, car il n'a pas besoin de traverser toute la couche de charbon. Il se forme une zone de gaz riche en acide carbonique qui favorise le départ de l'humidité contenue dans le charbon. On doit choisir des grilles à marches aussi peu hautes que possible et très larges.

Les charbons secs et facilement inflammables donnant peu de scories se brûlent avantageusement sur des grilles inclinées. On doit veiller, dans ce cas, comme dans tous les autres, à ce que la couche de charbon ne présente pas d'interruptions par lesquelles pourrait entrer un excès d'air.

Les grilles inclinées se combinent avantageusement avec une grille plane placée à la suite ; les produits de la combustion scorifiés ou transformés en coke se rassemblent à la partie inférieure du plan incliné et y brûlent sous l'influence fortement oxydante des gaz chauds, contribuant puissamment à assurer la combustion parfaite des éléments contenus dans ces gaz.

Lorsque la consommation de vapeur est sensiblement constante, on emploie avec avantage les dispositifs d'alimentation automatiques du foyer. Après quelques essais, on arrive à régler exactement l'arrivée du charbon sur la consommation. Grâce à ces dispositifs, les chaudières ne sont pas refroidies par l'arrivée d'air froid, comme cela a lieu chaque fois que l'on ouvre les portes du foyer pour introduire du combustible frais à la pelle. En outre, la distillation de la houille s'effectue très régulièrement, et les produits volatils arrivant dans une zone très chaude brûlent complètement avec une flamme longue exempte de fumée. Mais on ne saurait employer ces dispositifs automatiques pour alimenter des foyers de chaudières tubulaires, lorsque la consommation de vapeur est très variable. Dans ce cas, toute l'attention et toute l'habileté d'un chauffeur expérimenté suffisent à peine pour proportionner à tout instant la production de vapeur à la consommation, en modifiant l'activité de l'alimentation en combustible.

Les houilles grasses à longue flamme donnent souvent une grande quantité de noir de fumée. On peut remédier à cet inconvénient en humectant le charbon avant de le brûler ou en envoyant un jet de

vapeur sous la grille. On sait en effet que la vapeur d'eau surchauffée est décomposée par le charbon incandescent en oxygène et hydrogène ; une grande partie du carbone est oxydée aux dépens de l'oxygène pour donner de l'oxyde de carbone, gaz qui est ultérieurement brûlé ainsi que l'hydrogène. Il est bien évident que l'on ne peut réaliser ainsi une économie de combustible, car la décomposition de l'eau absorbe exactement autant de chaleur qu'en fournissent les oxydations ultérieures. Mais l'on peut réaliser indirectement une économie de combustible en transformant le noir de fumée qui se déposerait dans les carneaux ou se dégagerait dans la cheminée, en un gaz dont la combustion est beaucoup plus aisée.

Certains charbons présentent l'inconvénient de s'agglomérer sur la grille en une masse compacte empêchant l'arrivée de l'air. D'autres, au contraire, se fragmentent en menus morceaux qui passent à travers les barreaux de la grille et tombent dans le cendrier. Pour éviter ces deux inconvénients, on s'est ingénié à construire des grilles polygonales des formes les plus variées, qui ont pour but de laisser pénétrer l'air par des fentes ou des trous aussi étroits que possible. On arrivera au même but plus économiquement en employant des grilles formées de très faible épaisseur et d'une hauteur suffisante (au moins 150 millimètres de hauteur).

L'air nécessaire à la combustion devant passer presque tout entier à travers les barreaux de la grille, il arrive très souvent qu'il n'est pas en quantité suffisante ; il en résulte qu'une grande partie des gaz, n'ayant pas trouvé l'oxygène qui lui est nécessaire pour brûler, se dégage en pure perte par la cheminée.

Il est toujours très difficile de régler l'accès de l'air en raison directe de la quantité de gaz combustibles formés. Pour faciliter ce réglage, on construit certains foyers de telle sorte que, la production de gaz s'effectuant surtout sur la grille, ces gaz soient brûlés par de l'air réchauffé amené un peu au-delà du foyer par des canaux ménagés dans ses parois. Cet appel d'air secondaire assure la combustion parfaite des gaz chauds ; il est avantageusement employé pour le chauffage des chaudières à vapeur.

La première application de ce principe fut faite par Boëtius aux fours à calcination, en 1865. Boëtius avait remarqué que les gaz de générateur obtenus à l'aide de houille grasse et fortement chauffés

se décomposaient partiellement en raison du manque d'air et donnaient lieu à des dépôts obstruant peu à peu les récupérateurs de chaleur. Il eut l'idée d'opérer en sens inverse, c'est-à-dire d'opérer la combustion des gaz combustibles froids par de l'air chauffé par passage dans les récupérateurs. Cet air chaud était dirigé au-dessus du combustible, et non au-dessous de la grille, tandis que l'air froid nécessaire à la combustion passait en dessous de cette grille et à travers les barreaux.

On a proposé un grand nombre de dispositifs pour réchauffer l'air secondaire amené au-dessus de la grille. Röskey construit les carreaux en briques creuses et utilise leur cavité pour le passage de l'air à réchauffer. L'air y circule en sens inverse des produits de la combustion, ce qui assure un bon échange de calorique. Ce dispositif est surtout avantageux dans le cas de longues chaudières cylindriques avec bouilleurs. Le résultat est peu favorable lorsqu'on l'emploie pour des chaudières tubulaires, car, dans ce cas, les surfaces exposées à l'action directe du foyer sont trop restreintes.

Dans les foyers de ce genre, il est très important que le mélange d'air et de gaz à brûler parvienne dans une chambre à combustion où règne une température élevée. Pour éviter le refroidissement intense occasionné par leur contact direct avec les parois de chaudières pleines d'eau, Siemens a imaginé de revêtir celles-ci d'un cylindre en terre réfractaire. Mais celui-ci s'échauffe si fortement que les parois des bouilleurs en sont endommagées. Cependant ce dispositif est très recommandable dans le cas où l'on brûle du lignite ou des gaz de haut-fourneau.

Dans ses chaudières à tube intérieur ondulé, Willsmann dispose à l'extrémité postérieure d'une grille ordinaire une voûte en briques réfractaires. Le combustible est repoussé vers le fond de la grille de façon que l'intervalle entre la grille et la voûte soit complètement obstrué, ainsi que le montre la figure 75. Ce foyer présente des inconvénients dus à ce que les tôles de la chaudière s'usent rapidement et à ce que le chauffeur est fortement gêné par la chaleur rayonnée.

Il existe un grand nombre de dispositifs dans lesquels les barreaux de la grille sont creux et servent au passage de l'air qui est ainsi chauffé et débouche à l'arrière du foyer. Mais les barreaux sont

rapidement oxydés dans ces conditions et doivent être fréquemment renouvelés.

Les combustibles liquides jouent un grand rôle dans le pays où l'on rencontre des sources de pétrole. On emploie soit le pétrole brut, soit le résidu que laisse sa distillation (mazout). Le liquide contenu dans un réservoir en tôle est aspiré au moyen d'un injecteur à jet de vapeur et finement pulvérisé dans un foyer. Il est enflammé et brûle à peu près complètement, si l'on a soin de faire arriver l'air en quantité suffisante.

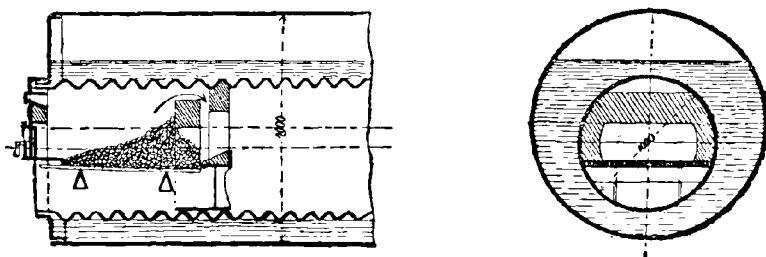


FIG. 75.

L'emploi du poussier de charbon comme combustible est un problème qui a suscité les recherches et les essais d'un grand nombre d'industriels. Le combustible amené par pulvérisation à un degré de finesse uniforme est soufflé dans le foyer en même temps que le volume d'air nécessaire à sa combustion. La figure 76 représente un des nombreux appareils imaginés pour réaliser ces conditions (appareil Schwartzkopf). Le charbon pulvérulent est introduit dans une trémie *a* à la base de laquelle est disposée une brosse circulaire en fil d'acier *f* tournant très rapidement sur son axe ; un marteau en acier *g* est calé sur le même axe, et sa longueur à partir du centre est disposée de manière à pouvoir être réglée. La partie antérieure de la trémie *a* est formée par une plaque de tôle recourbée *e* ; une tôle formant ressort *d*, dont la partie inférieure *h* s'appuie contre la brosse tournante, est heurtée et repoussée à chaque tour par l'extrémité du marteau. Entre la partie inférieure de la trémie et la brosse circulaire on a disposé une plaque formant ressort *c*, qui limite l'ouverture offerte au passage du charbon entre *c* et *d* ; cette ouverture peut être réglée à volonté en agissant sur la vis *b*.

Les secousses imprimées à la paroi antérieure de la trémie par la plaque de tôle *d* permettent à la poudre de charbon de s'écouler régulièrement sur la brosse, malgré la tendance à s'agglomérer qu'elle possède. En outre, la tôle recourbée *e* a pour effet de parer à la pression latérale et a pour résultat d'obtenir que l'écoulement s'effectue sous pression constante.

L'air destiné à être mélangé à la poussière de charbon projetée dans le foyer par la brosse rotative arrive par trois voies différentes, suivant les directions indiquées par les flèches *l*, *m* et *n*. Chacune des ouvertures lui donnant accès peut être réglée à l'aide d'un registre ou de tout autre dispositif approprié.

Pour mettre l'appareil en marche, on allume un feu de bois dans le foyer, lequel réchauffe ses parois et enlame le charbon pulvérulent. La combustion se propage ensuite d'elle-même.

Citons encore l'utilisation des gaz chauds dégagés par les fours à calcination ou à fusion. La chaleur entraînée par ces gaz peut être facilement utilisée en établissant directement les chaudières dans les carneaux par lesquels ils se dégagent.

Les différents types de foyers décrits jusqu'ici peuvent être différem-

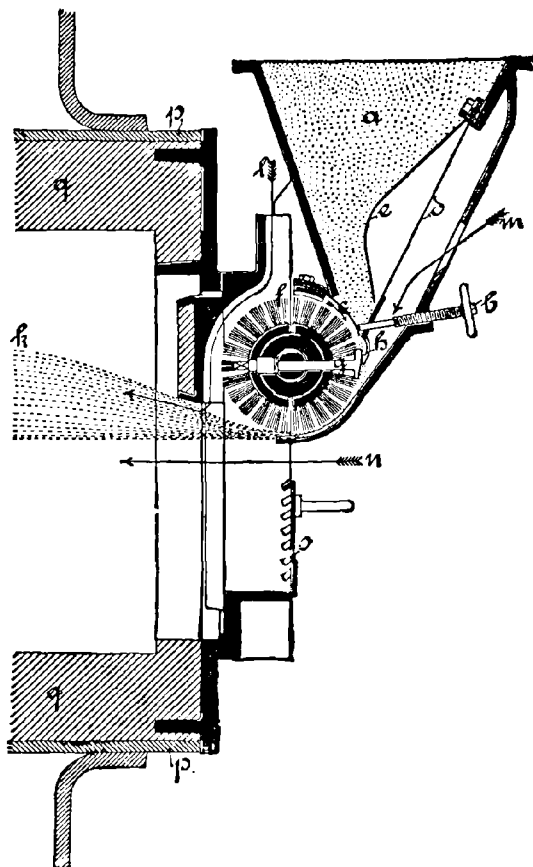


FIG. 76.

ment placés par rapport à la chaudière à chauffer. On peut les disposer en avant ou au-dessous de la chaudière ou encore à l'intérieur même de l'un des bouilleurs.

Le foyer placé en avant s'adapte à toutes les chaudières cylindriques ou mixtes, et l'on peut employer des grilles horizontales ou inclinées. Il présente l'avantage de permettre de protéger efficacement par des voûtes ou des massifs en maçonnerie les parois de chaudières directement touchées par les flammes. Mais il exige un grand emplacement pour son installation, et une grande partie de la chaleur dégagée sert à échauffer en pure perte le massif de maçonnerie et à élever d'une façon gênante, la température du local où est placé le foyer.

Les foyers placés au-dessous des chaudières ne sont applicables qu'aux chaudières tubulaires. Les parois de ces tubes doivent être protégées aussi bien que possible du contact direct des flammes. Ils présentent sensiblement les mêmes inconvénients que les précédents eu égard à la perte de calorique. Leur avantage réside en ce que l'on peut donner à la grille toute la surface nécessaire, ce qui permet d'employer des combustibles à pouvoir calorifique peu élevé, tel que la lignite.

Il n'en est pas ainsi avec les foyers intérieurs dont la surface est étroitement limitée par les dimensions des bouilleurs tubulaires à l'intérieur desquels ils sont placés. Mais l'utilisation de la chaleur dégagée est naturellement bien meilleure ; par contre, les tôles exposées à l'action directe de la flamme sont l'objet de fréquentes réparations. Les tubes et toutes les parties où la cendre pourrait s'accumuler doivent être souvent nettoyés de façon à éviter toute perte de surface de chauffe.

La production de vapeur ne doit pas dépasser 12 à 15 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de chauffe dans les chaudières tubulaires. Dans les chaudières mixtes, cette quantité peut être portée à 18 et même à 22 kilogrammes.

En marche normale, la quantité de charbon brûlé ne doit pas dépasser 60 à 70 kilogrammes de houille par heure et par mètre carré de surface de grille. Si l'on dépasse cette quantité, la chaleur produite est mal utilisée.

Pour éviter que la vapeur n'entraîne mécaniquement une très forte proportion d'eau, la surface de vaporisation, c'est-à-dire la surface

libre de l'eau contenue dans la chaudière, doit être en rapport avec la quantité de vapeur produite. L'expérience montre que, pour obtenir de la vapeur convenablement sèche, on ne doit pas dépasser 160 à 200 kilogrammes de vapeur par mètre carré de surface de vaporisation. C'est pour cette raison que les générateurs tubulaires qui possèdent une grande surface de chauffe doivent être munis d'une chaudière supérieure de grandes dimensions. Pour diminuer encore la quantité d'eau mécaniquement entraînée par la vapeur, on dispose, dans

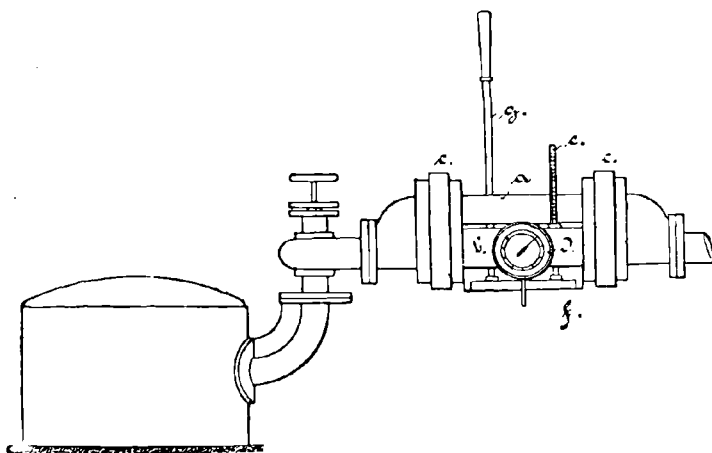


FIG. 77.

l'intérieur de la chaudière elle-même, un séparateur d'eau. Il existe un grand nombre d'appareils construits dans ce but; ils ont pour effet de projeter le mélange d'eau et de vapeur animé d'une grande vitesse contre une paroi en tôle. Les gouttelettes d'eau se rassemblent et s'écoulent, tandis que la vapeur se répand dans la partie supérieure de la chaudière et se rend finalement au dôme où se trouve fixée la conduite qui la dirige vers le point d'utilisation.

L'entraînement d'eau non vaporisée présente de graves inconvénients; il exagère la consommation d'eau et la condensation dans les conduites et les appareils. Cette eau ne possède qu'une faible capacité calorifique, eu égard à celle de la vapeur elle-même. Pour toutes ces raisons, il est important de posséder un moyen permettant d'évaluer la proportion d'eau mécaniquement entraînée par la vapeur que l'on produit.

L'appareil suivant, dû à M. Gehre, permet d'effectuer assez facilement cette détermination, sans interrompre la marche de la vaporisation. Cet appareil (*fig. 77*) se place horizontalement sur la conduite de vapeur et tout près de la chaudière de manière à exclure toute condensation. Il se compose principalement d'une tubulure *a*, dans laquelle passe la vapeur lorsqu'on ne se sert pas de l'appareil. Une conduite semblable *b* placée au dessous est munie d'un manomètre *d* et *d'* un thermomètre *e*. Cette dernière peut être chauffée à l'aide du bec de gaz *f*. Aux extrémités de ces tubulures sont placées des valves *c, c*, que l'on peut ouvrir et fermer rapidement à l'aide du levier *g*.

Pour déterminer la proportion d'eau contenue dans la vapeur, on ouvre les valves *c, c*, et laisse circuler la vapeur dans les conduites *a* et *b* jusqu'au moment où l'on peut admettre que, l'appareil étant à la même température que la vapeur, aucune condensation n'est plus à craindre. A ce moment, on ferme simultanément les deux valves *c, c*. La vapeur existant dans la conduite *b* se trouve alors complètement isolée de celle qui continue à circuler par la tubulure *a*. On se trouve ainsi avoir isolé une partie de la colonne de vapeur qui circulait tout à l'heure dans la canalisation. Cette vapeur et l'eau entraînée qu'elle renfermait sont alors chauffées au moyen du dispositif *f* dans l'espace clos *b* jusqu'à ce que l'eau soit complètement vaporisée. Aussi longtemps que la vapeur reste saturée, c'est-à-dire aussi longtemps qu'il y a de l'eau non transformée en vapeur, la pression et la température de cette vapeur varient dans des proportions parfaitement déterminées. Dès que la vapeur étant devenue sèche commence à se surchauffer, ce rapport n'existe plus. On sait en effet que, tandis que la tension de la vapeur saturée augmente très rapidement avec la température, la vapeur sèche se dilate comme un gaz et que l'augmentation de pression très lente qu'elle subit est donnée par la loi de dilatation des gaz.

Pour faciliter l'observation de ce changement d'allures, la graduation du manomètre porte, à côté de la pression en atmosphères, l'indication de la température correspondante. Dès que cette température ne coïncide plus avec celle qu'indique le thermomètre, cette dernière étant plus élevée, on lit l'indication de l'aiguille du manomètre.

Si l'on appelle *x* le premier chiffre lu sur le manomètre lorsque, l'appareil étant arrivé à un état d'équilibre, on a fermé les valves *c, c*,

et y la nouvelle pression lue au moment où la vapeur cesse juste d'être saturée, la différence $y - x$ divisée par x et multipliée par 100 donnera aussitôt la proportion d'eau mécaniquement entraînée par la vapeur, exprimée en pour 100 :

$$\frac{y - x}{x} \times 100 = \text{pour 100 d'eau non vaporisée.}$$

Il est bien évident que l'eau mécaniquement entraînée ne doit pas être prise en considération lorsqu'il s'agit d'établir la puissance de vaporisation d'un générateur de vapeur donné. L'emploi de cet appareil permet de se convaincre que la plupart des générateurs qui paraissent fournir un rendement très satisfaisant sont bien loin de donner ce résultat, si l'on tient compte de la quantité d'eau mécaniquement entraînée.

Le professeur Lewicki de Dresde a proposé de déterminer la proportion d'eau entraînée par la vapeur qu'on laisse se dégager librement à l'air. Par ce fait, la pression s'abaisse à 1 atmosphère, et cette diminution de pression a pour cause la vaporisation de l'eau entraînée et un échauffement de la vapeur. Cet échauffement est mesuré à l'aide d'un thermomètre placé dans le courant de vapeur ; au moyen de ce chiffre t' , de la température t et de la chaleur spécifique q de la vapeur circulant dans la conduite de vapeur, on peut calculer la quantité x de vapeur sèche (exprimée en kilogrammes), contenue dans 1 kilogramme de vapeur humide. On emploie pour ce calcul la formule suivante :

$$x = \frac{(637 + t')(0,48 - q)}{(606,5 + 0,305)(t - q)}$$

La quantité d'eau entraînée par 1 kilogramme de vapeur est, par suite, $1.000 - x$ kilogramme.

Le procédé le plus exact pour déterminer la quantité d'eau entraînée par la vapeur est le suivant : On dissout dans l'eau de la chaudière une quantité convenable de chlorure ou de sulfate de sodium, quantité qui doit être telle que le chlore ou l'acide sulfurique puissent être exactement dosés. On prélève de la vapeur en un point convenable de la canalisation, et l'on condense cette vapeur en la faisant circuler dans un serpentín refroidi. D'un autre côté, on recueille une certaine quantité d'eau de la chaudière en se servant de l'un des robinets de

jauge ou de niveau d'eau. Dans ces deux échantillons de liquide, on dose le chlore (ou l'acide sulfurique) contenu dans un volume donné; la comparaison des résultats obtenus indique immédiatement la quantité d'eau entraînée par la vapeur. Si l'eau de la chaudière renferme, par exemple, 1 gramme d'acide sulfurique par litre et l'eau de condensation 0^{sr},1, la vapeur a entraîné 10 0/0 d'eau non vaporisée.

Les chaudières cylindriques possédant une grande surface de vaporisation fournissent une vapeur beaucoup plus sèche que les chaudières tubulaires; elles sont nettement préférables sous ce rapport. De plus, étant donné leur construction, les chaudières cylindriques renferment un volume d'eau beaucoup plus considérable que les générateurs tubulaires, à égalité de surface de chauffe. Il est donc beaucoup plus facile d'y maintenir la pression constante, alors même que la consommation de vapeur serait très variable.

Le rapport existant entre le volume d'eau et la quantité de vapeur à produire fournit une indication précieuse pour estimer la facilité de conduite d'un générateur de vapeur. Pour pouvoir maintenir aisément la pression constante, on ne doit pas dépasser 150 kilogrammes de vapeur par mètre cube d'eau et par heure. Pour remplir ces conditions, les générateurs tubulaires doivent être surmontés d'un ou plusieurs récepteurs d'eau et de vapeur de grand diamètre, de façon telle que la quantité d'eau disponible soit en rapport convenable avec leur grande surface de chauffe.

Ces conditions défectueuses ne peuvent être reconnues qu'en effectuant des essais de vaporisation. Dès que l'on s'est convaincu que la vaporisation s'effectue dans de mauvaises conditions, on doit faire tous ses efforts pour l'améliorer. Il est en effet de beaucoup plus avantageux de faire une dépense de réparation une fois pour toutes que de subir journallement une perte due au mauvais rendement de l'installation.

Il importe surtout de prévoir largement la capacité des chaudières dont on a besoin pour une installation nouvelle. Il arrive très fréquemment, surtout dans l'industrie chimique, que l'on consomme plus de vapeur qu'on ne l'avait prévu, soit que les appareils ne donnent pas tout ce qu'on en attendait, soit que l'on soit amené à en installer de nouveaux. Pour cette raison, une installation prévue trop exactement ne tarde pas à se trouver trop petite dans bien des cas. Il

est de beaucoup préférable de faire dès le début une installation supérieure aux besoins prévus. Si cela est nécessaire, on peut diminuer provisoirement la surface de la grille en construisant un massif en briques réfractaires sur chacun de ses côtés latéraux.

Mais la meilleure installation de chaudières travaille dans des conditions défavorables, si le chauffeur qui en a la direction ne possède pas les connaissances techniques suffisantes. Il ne suffit pas qu'il maintienne la pression et le niveau d'eau dans des limites convenables, il faut encore qu'il sache diriger son feu de manière à réaliser toutes les économies possibles de charbon. La bonne utilisation du charbon joue un très grand rôle dans le prix de revient de la vapeur, et il est beaucoup plus économique d'employer un chauffeur habile et expérimenté que de confier ce soin à un manœuvre quelconque, alors même que le salaire du premier serait beaucoup plus élevé. On doit apporter tous ses soins à l'instruction technique du personnel dont on dispose et s'assurer fréquemment que le service qui lui est confié est bien exécuté.

La plus grande difficulté est d'habituer le chauffeur à se servir régulièrement et en temps utile du registre interposé sur le parcours des gaz se rendant à la cheminée. Ce registre doit être fermé avant d'ouvrir la porte du foyer pour introduire du charbon, car l'entrée brusque d'air froid par la porte ouverte refroidit fortement le foyer et agit désavantageusement sur la production de vapeur et sur les tôles de chaudières qui se trouvent soumises à une brusque contraction. On a imaginé un grand nombre d'appareils ayant pour but de réaliser automatiquement la fermeture du registre avant que la porte du foyer ne puisse être ouverte ou au moment même où cette ouverture est effectuée. Nous ne décrirons pas ces appareils ici, car ils n'ont trouvé qu'un accueil peu favorable, et ce problème ne semble pas avoir été résolu d'une façon véritablement pratique.

ÉPURATION DE L'EAU

Comme il a déjà été dit dans ce qui précède, l'épuration de l'eau destinée à l'alimentation de chaudières tubulaires est indispensable

pour assurer la sécurité de leur fonctionnement et leur bon rendement. Cette même épuration s'applique aussi très avantageusement à l'eau destinée aux chaudières cylindriques, car elle évite la formation de dépôts très mauvais conducteurs de la chaleur. Ces dépôts diminuent la quantité d'eau vaporisée ou nécessitent la consommation d'une plus grande quantité de charbon, si l'on veut produire la même quantité de vapeur.

L'emploi d'eau épurée représente une économie de charbon et une diminution des dangers d'explosion et d'accidents de fonctionnement. En outre, les tôles des chaudières ou les tubes n'ont pas besoin d'être fréquemment nettoyés et exigent beaucoup moins de réparations.

L'épuration de l'eau peut à la rigueur se faire dans la chaudière elle-même en ajoutant à l'eau d'alimentation des réactifs capables de transformer les dépôts de sels peu solubles en sels facilement solubles.

Cette méthode est de moins en moins employée, car les dépôts boueux qui s'accumulent dans les chaudières doivent être fréquemment éliminés et s'opposent aux échanges de chaleur. En outre, il est toujours difficile de s'assurer que l'eau a été additionnée de la quantité voulue de réactifs.

Le procédé le plus recommandable consiste à épurer l'eau avant de l'envoyer dans la chaudière en précipitant les sels calcaires et en les séparant de l'eau épurée par filtration ou par décantation.

Si l'on opère par décantation, il suffit de disposer un récipient inférieur et deux récipients placés au-dessus de celui-ci de telle façon que leur contenu puisse s'y déverser. Dans chacun des récipients supérieurs on mélange intimement l'eau à épurer avec une quantité convenable de réactifs, quantité déterminée en tenant compte de l'analyse de l'eau. On laisse déposer le précipité formé, puis on fait écouler l'eau claire dans le récipient inférieur jusqu'à 200 ou 250 millimètres au-dessus du fond ; la pompe d'alimentation vient puiser dans ce réservoir l'eau destinée aux chaudières. Les deux réservoirs supérieurs servent alternativement à l'épuration et à la décantation ; ils doivent être assez grands pour que l'un d'eux puisse être vidé, rempli d'eau impure et mélangé avec les réactifs pendant que l'autre se clarifie, le réservoir inférieur contenant toujours une provision suffisante d'eau épurée et clarifiée.

On peut encore disposer seulement deux récipients l'un au-dessus

de l'autre et interposer un filtre-pressé entre le récipient inférieur et la chaudière.

Le procédé par décantation est d'une grande commodité et d'une grande facilité de surveillance; son seul défaut est d'exiger un emplacement considérable pour les installations devant traiter une grande quantité d'eau. Pour éviter cet inconvénient, on a construit un grand nombre de filtres dans lesquels l'eau tenant les sels en suspension doit parcourir un long parcours pendant lequel elle se clarifie; finalement elle s'écoule parfaitement limpide.

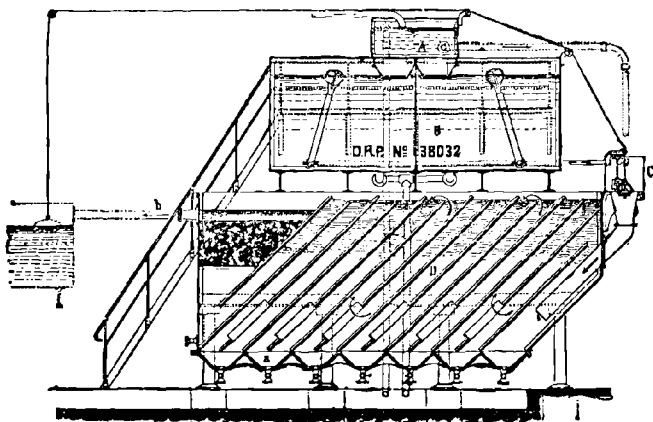


FIG. 78.

La figure 78 représente un appareil de ce genre en coupe. L'eau froide ou chaude arrive dans le réservoir A et y dissout les réactifs nécessaires à son épuration. Elle se rend de là dans le récipient B divisé en deux parties égales par une cloison médiane. Ces deux parties servent alternativement au mélange des réactifs et à la séparation du précipité par décantation. L'eau se rend ensuite par C dans le réservoir à décantation D, qui contient un grand nombre de cloisons planes et inclinées obligeant l'eau à suivre un parcours considérable et donnant aux dépôts la facilité de se rassembler dans la partie inférieure a. L'eau traverse encore un filtre à sable disposé à l'extrémité de son parcours et se rend par la canalisation b dans un réservoir dans lequel on la prend au fur et à mesure des besoins. La quantité d'eau épurée et filtrée est constamment proportionnée à la consomma-

tion au moyen du régulateur *c* relié par un câble au flotteur placé à la surface de l'eau contenue dans le réservoir contenant l'eau épurée.

L'épuration de l'eau par filtration peut se faire soit à l'aide d'un filtre-pressé, soit au moyen d'un filtre à sable.

Dans les deux cas, l'eau préalablement chauffée est additionnée d'une quantité calculée et fixe de réactifs, puis abandonnée au repos avant d'être filtrée. La figure 79 représente une installation faite d'après le système Dehne.

L'eau est d'abord chauffée par passage dans un réchauffeur A ; cet appareil est constitué par un faisceau de tubes environnés de vapeur

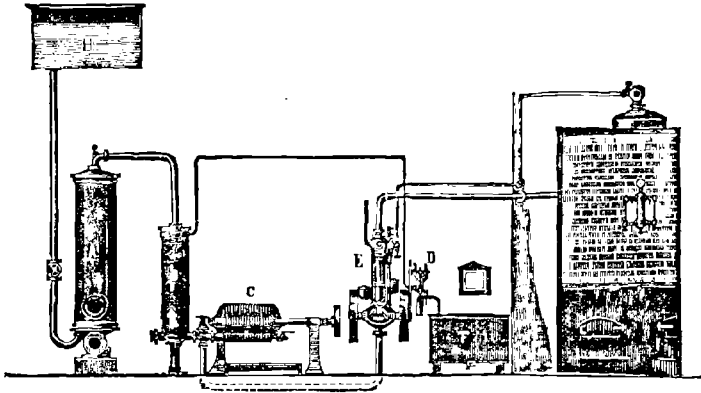


FIG. 79.

L'eau chaude arrive ensuite dans le réservoir B où elle est additionnée des réactifs préalablement dissous et amenés par la pompe D ; elle passe ensuite dans le filtre-pressé B, où elle abandonne tous les corps qu'elle tient en suspension. La pompe E la refoule directement dans la chaudière ou dans un réservoir d'alimentation F. Le filtre-pressé doit être vidé et nettoyé toutes les semaines au moins, et, de plus, il faut remplacer les tissus filtrants de temps à autre. Enfin, la consommation de vapeur pour le chauffage de l'eau et la mise en mouvement des pompes n'est pas négligeable.

Les épurateurs automatiques du système Desrumeaux (*fig. 80*) présentent de grands avantages au point de vue de la sécurité de leur fonctionnement et de l'exactitude du dosage des réactifs épurants. Ils présentent, en outre, plusieurs dispositifs ingénieux qui méritent d'être signalés.

Les sels de soude, de fer ou d'alumine suffisamment solubles sont employés sous forme de solutions journellement préparées dans le réservoir C, dont le débit est régularisé au moyen d'un flotteur régulateur D.

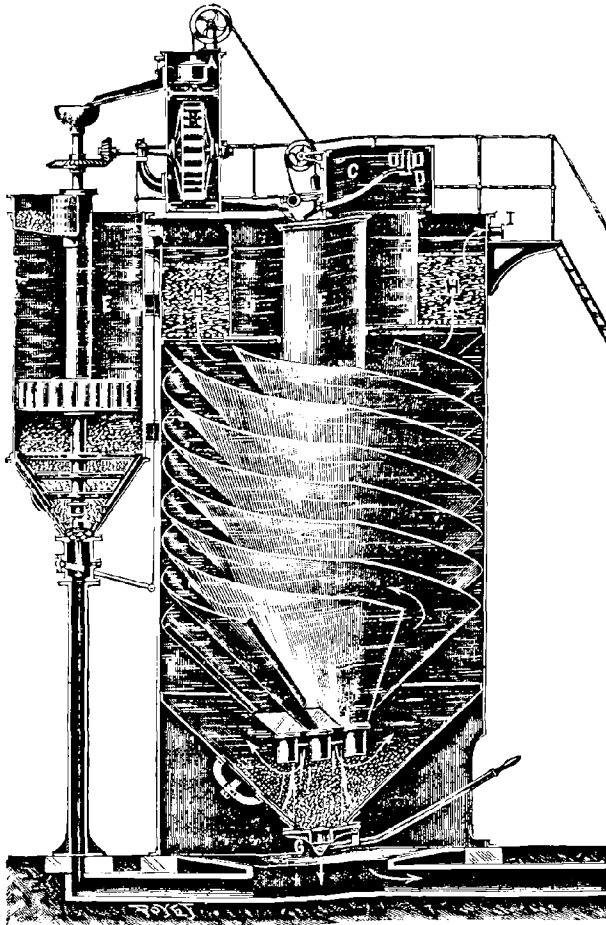


FIG. 80.

Pour arriver à ajouter à l'eau le poids de chaux strictement nécessaire à sa correction, on met à profit la propriété qu'elle possède de ne pouvoir s'y dissoudre au delà d'une proportion déterminée. L'eau, en effet, convenablement agitée avec de la chaux en excès, n'en peut dissoudre que la quantité maximum invariable de 1^{sr},25 par litre.

Partant de cette observation, pour additionner l'eau à épurer d'un poids voulu de chaux, on prend une fraction déterminée de cette eau pour la transformer en un volume correspondant d'eau saturée de chaux que l'on mélange ensuite à l'eau à traiter.

La saturation de l'eau de chaux s'obtient automatiquement dans le récipient cylindrique E en malaxant continuellement la chaux avec l'eau à saturer au moyen d'un agitateur à palettes actionné par une roue à augets B, mise elle-même en mouvement par l'eau à épurer arrivant à l'épurateur dans le distributeur A. Le tube central de cet agitateur sert à la fois d'arbre et de conduit pour l'introduction de l'eau à saturer sous les palettes.

La chaux vive est versée une fois par jour en quantité déterminée dans l'extincteur du saturateur, où, baignée par l'eau, elle s'éteint d'elle-même. Le moment arrivé de charger l'appareil, on la fait descendre dans la partie inférieure du malaxeur E, en ouvrant une vanne qui met en communication le fond de l'extincteur avec un large conduit, concentrique au tube central, et s'arrêtant un peu au-dessus des palettes. La bouillie de chaux remplit ainsi la caisse de malaxage. Les résidus non dissous (matières étrangères, carbonate de chaux, etc.) sont évacués par une conduite verticale prolongeant le malaxeur.

L'eau de chaux saturée et clarifiée sort par le haut du saturateur et va se mélanger à l'eau à épurer tombant du moteur hydraulique et aux autres solutions contenues dans le réservoir à réactifs posé directement sur le décanteur.

L'addition des divers réactifs à l'eau donne immédiatement naissance à des réactions qui la troublent et lui donnent un aspect laiteux : c'est la précipitation des sels dissous qui se produit. Pour obtenir de l'eau épurée, il ne reste plus qu'à séparer les précipités formés et, en même temps, toutes les autres matières en suspension. Cette séparation se fait ici par décantation et filtration combinées.

La décantation est considérablement accélérée en divisant la masse d'eau en nappes minces, au moyen de surfaces hélico-conoïdales en tôle, de façon à parer à la vitesse dont elle est animée et qui nuit à sa rapide clarification. On réduit ainsi l'espace que les précipités ont à parcourir pour se déposer. En outre, cette forme des surfaces de décantation favorise le glissement des précipités et les soustrait à l'entraînement des veines liquides en mouvement, en assurant : à l'eau, la direc-

tion la plus favorable à sa clarification ; aux dépôts, l'acheminement le plus direct pour leur élimination.

Les dépôts rassemblés vers l'axe des surfaces hélicoïdales se dirigent sous la seule action de la pesanteur vers des poches terminales d'où ils descendent, par des collecteurs distincts correspondant à chacune des surfaces hélicoïdales, dans le fond conique du décanteur, tenant lieu de réservoir à boues. Ces boues sont éliminées en ouvrant chaque jour la soupape de vidange G, jusqu'à ce que l'eau sorte claire.

L'eau dépouillée des sels nuisibles passe finalement dans un filtre H situé à la partie supérieure du décanteur est constitué par une couche de fibre de bois légèrement comprimée entre deux rangées de tôles perforées.

L'eau, épurée et claire, sort par la tubulure I.

Les surfaces de décantation sont démontables et disposées de manière à pouvoir être nettoyées instantanément sans démontage. Enfin l'appareil est automatique et ne fonctionne qu'autant que l'on s'alimente en eau épurée.

MACHINES A VAPEUR

La transformation de la force vive de la vapeur en force motrice s'effectue à l'aide des machines à vapeur. Nous supposons ces machines connues, tout au moins dans leurs grandes lignes, et nous ne traiterons ici que les sujets relatifs à la conduite de ces machines, au contrôle de leur bon fonctionnement et au calcul du prix de revient de la force motrice obtenue par ce moyen.

La partie la plus importante de toute machine à vapeur est le cylindre avec ses organes de distribution qui réalisent l'introduction alternative de vapeur de chaque côté du piston. La bielle transforme le mouvement rectiligne et alternatif du piston en mouvement rotatif et continu, mouvement rendu uniforme par l'action régulatrice du volant. Enfin, le régulateur limite la vitesse de rotation du volant en agissant automatiquement sur la quantité de vapeur introduite à chaque fois dans le piston.

Les machines à vapeur sont dites verticales ou horizontales sui-

vant la position du cylindre. On distingue encore ces machines par le nombre de cylindres accouplés (machines à 1, 2, 3 cylindres) ou par le nombre de cylindres que la vapeur traverse successivement avant d'avoir perdu toute force vive (machine à double ou triple expansion, machines compound). Les machines à pleine pression s'opposent aux machines à expansion, par ce fait que l'admission de vapeur a lieu pendant toute la durée de la course du piston ; au contraire, dans les machines à expansion, l'admission de vapeur est coupée avant que le piston ne soit arrivé au terme de sa course, et c'est la détente de la vapeur qui est utilisée pendant la deuxième partie de son parcours. Enfin, l'on distingue les machines à échappement libre de celles qui sont munies d'un dispositif pour la condensation de la vapeur détendue.

Les machines fixes reposent sur des fondations en maçonnerie et ne sont réunies au générateur de vapeur que par la conduite de vapeur. Dans les locomobiles, le générateur et la machine forment un tout homogène plus facile à déplacer, occupant moins de place et consommant moins de charbon.

Étant donné le grand nombre de types de machines et leur diversité, il n'est pas possible de dire *a priori* celui qui convient le mieux à l'industrie chimique. On doit toujours chercher une machine solidement construite, d'un mécanisme peu compliqué, de manière à simplifier l'exécution des réparations qui pourraient devenir nécessaires. On doit, en outre, prévoir que la machine devra fonctionner sous des charges assez variables. D'une façon générale et à part certaines applications spéciales, les machines fixes à expansion sont les plus avantageuses. L'expansion assure dans tous les cas la meilleure utilisation possible de la vapeur. Il est plus avantageux d'employer la vapeur d'échappement au chauffage (chauffage de l'eau d'alimentation par exemple) que de chercher à accroître la force de la machine en la condensant.

Si l'on n'a besoin que de quelques chevaux-vapeur, on donnera la préférence à un moteur à gaz pouvant fonctionner sans aucune surveillance. Enfin, s'il s'agit d'un travail intermittent, on se contentera d'une machine bon marché, car le meilleur rendement d'une machine plus coûteuse ne compenserait pas, dans ce cas, la différence des frais de première installation.

Calcul de la puissance et de la consommation d'une machine à vapeur¹. — Pour calculer approximativement la puissance d'une machine à pleine pression, on peut opérer comme suit :

Supposons un cylindre de 20 centimètres de diamètre, la course du piston étant de 50 centimètres, la vapeur possédant une pression de 5 atmosphères au-dessus de la pression atmosphérique et le volant faisant 120 tours par minute. La surface du piston est πr^2 ; et, la pression exercée par la vapeur étant de 5 kilogrammes par centimètre carré, la pression totale est de

$$5 \pi r^2 = 5 \times 3,14 \times 10^2 = 1.570 \text{ kilogrammes.}$$

Le travail fourni à chaque déplacement du piston d'un bout à l'autre du cylindre de 50 centimètres de longueur est donc $1.570 \times 0,5$, soit 1.570 kilogrammètres pour chaque course complète du piston comprenant un mouvement d'aller et un mouvement de retour.

L'arbre faisant 120 tours par minute, soit deux tours par seconde, le piston fait aussi deux courses complètes dans ce même temps. La machine produit donc :

$$2 \times 1.570 = 3.140 \text{ kilogrammètres par seconde,}$$

soit :

$$\frac{3.140}{75} = 42 \text{ chevaux-vapeur,}$$

puisque 1 cheval-vapeur équivaut à 75 kilogrammètres par seconde.

Pour calculer la puissance théorique d'une machine monocylindrique, on peut donc employer la formule suivante :

$$n = \frac{Q (d - g) M}{60 \times 75},$$

Q étant la section du cylindre en centimètres carrés; d , la tension de vapeur; g , la contre-pression (pression atmosphérique s'il n'y a pas de condensation); et M , la vitesse moyenne du piston par minute exprimée en mètres. On obtient ainsi la puissance théorique en puissance indiquée. On doit diminuer ce chiffre de $1/5$ pour tenir compte

1. Les indications qui suivent sont empruntées à l'ouvrage de Dierbach, *Der Betriebs Chemiker*.

de la force absorbée par le frottement des différents organes de la machine. Dans l'exemple précédent, la puissance disponible ou effective sur l'arbre est d'environ 33 chevaux.

Le quotient de la puissance indiquée divisée par la puissance effective donne le coefficient de résistance de la machine. Il s'ensuit qu'une machine à vapeur travaille d'autant plus économiquement qu'elle est plus chargée, car la fraction de force employée pour son fonctionnement (et, en outre, pour la mise en marche des organes de transmission) restant constante est relativement d'autant plus faible que la force utilisée est plus considérable.

Pour calculer la consommation de vapeur, il suffit de déterminer le poids de vapeur introduite dans le cylindre à chaque course du piston. Le volume de la cylindrée, dans le cas précédent, est de :

$$\pi r^2 l = 3,14 \times 1^2 \times 5 = 57^{lit},7.$$

Le poids spécifique de la vapeur à 6 atmosphères étant 0,00326, et la machine faisant 240 courses de piston par minute, soit 14.400 par heure, la consommation de vapeur par cheval et par heure est de :

$$\frac{14.400 \times 0,00326 \times 57,7}{33} = 23^{kg},3$$

La formation de 1 kilogramme de vapeur à 6 atmosphères exige 655 calories. La quantité de vapeur introduite dans le cylindre à chaque coup de piston contient donc :

$$555 \times 0,0512 = 33^{cal},5.$$

Or le travail du piston est de :

$$1.570 \times 0,5 = 785 \text{ kilogrammètres.}$$

Chaque calorie a donc produit :

$$\frac{788}{336} = 23^{kgm},4.$$

Or, théoriquement, chaque calorie équivaut à 424 kilogrammètres; le rendement de la machine à vapeur n'est donc que de 5,53 0/0 du travail théorique.

L'on doit encore tenir compte des pertes de vapeur provenant de l'espace nuisible, qui est d'environ $1/20$ du volume de la cylindrée et de la condensation de la vapeur sur les parois du cylindre. On réduit autant que possible cette dernière cause de perte de vapeur en revêtant le cylindre de matières mauvaises conductrices de la chaleur. Les pertes de vapeur résultant du manque d'étanchéité du piston et du tiroir de distribution peuvent être réduites à zéro par une construction soignée.

Les calculs qui précèdent se rapportent au cas d'une machine à échappement libre sans expansion ni condensation. Par l'emploi de la quadruple expansion et de la condensation, la consommation de vapeur d'une machine de 16 chevaux peut être réduite à 20 kilogrammes environ par cheval et par heure. Cette économie est moins importante, si l'on n'opère pas la condensation de la vapeur d'échappement; la condensation est surtout avantageuse pour les machines à basse pression, et lorsque l'on dispose d'une grande quantité d'eau (25 à 30 fois le poids de vapeur à condenser). On doit, en outre, tenir compte de l'amortissement et de l'entretien des pompes nécessaires; l'économie de vapeur réalisée est de 25 à 30 0/0.

Les machines consomment d'autant moins de vapeur qu'elles sont plus puissantes. Les machines sans condensation de 2 à 5 chevaux consomment environ 30 kilogrammes de vapeur; celles de 10 chevaux, 20 à 25 kilogrammes par cheval et par heure. Les machines de plus de 50 chevaux à forte expansion et à échappement libre nécessitent 12 à 16 kilogrammes, et seulement 10 kilogrammes si elles sont à condensation. Enfin les machines perfectionnées de plus de 500 chevaux consomment à peine 6 kilogrammes de vapeur par cheval et par heure.

On trouve grand avantage à employer de la vapeur surchauffée, toutes les fois que la construction des cylindres le permet. Une machine alimentée de vapeur surchauffée à 300° consomme 20 0/0 de moins que si elle l'est avec de la vapeur saturée. Le surchauffeur peut généralement s'installer dans les carneaux du foyer et ne nécessite pas de dépense de combustible. On ne doit pas oublier que les conduites suffisamment résistantes pour la vapeur ordinaire peuvent ne pas l'être pour la vapeur surchauffée. Les tubes de cuivre éclatent facilement à ces températures élevées (200 à 350°), et les tiges des valves en fonte doivent être en acier au nickel.

En pratique, pour déterminer la consommation d'une petite machine à échappement libre, la méthode la plus exacte consiste à condenser la vapeur dans un grand réfrigérant. On peut encore la faire barboter dans une quantité d'eau froide assez considérable pour ne pas s'échauffer outre mesure. Au bout d'un temps donné, on mesure ou pèse la quantité d'eau ainsi obtenue. S'il s'agit d'une grosse machine à vapeur, on détermine la quantité d'eau d'alimentation nécessaire pour ramener l'eau de la chaudière au niveau qu'elle occupait avant le commencement de l'expérience. Dans ces essais, on doit tenir compte de la quantité d'eau de condensation formée dans la tuyauterie avant que la vapeur n'arrive à la machine, car, bien que cette vapeur soit perdue pour la production de force motrice, elle n'a pas moins nécessité la combustion de houille pour sa vaporisation. Par contre, la vapeur nécessaire au fonctionnement de la pompe d'alimentation doit être déduite dans le cas où elle est empruntée à la même chaudière. Pendant toute la durée de l'essai, la chaudière et la machine à vapeur doivent être dirigées dans des conditions aussi voisines que possible des conditions de leur fonctionnement normal.

Prix d'installation et d'entretien d'une machine à vapeur. — Pour fixer les idées sur ces points importants, nous donnerons, d'après Dierbach, le relevé des dépenses annuelles occasionnées par une machine à échappement libre de 25 chevaux, en supposant 300 journées de travail de 10 heures chacune :

Consommation de charbon : 2 kilogrammes par cheval-heure effectif, soit $2 \times 25 \times 10 \times 300 = 150.000$ kilogrammes à 23 francs les 1.000 kilogrammes.....	3.450
Consommation d'eau 6 à 7 fois le poids de charbon brûlé, environ 1.000 mètres cubes à 0,40 le mètre cube.....	400
Huiles de graissage, chiffons, joints, mastic, etc.....	450
Assurances contre l'incendie.....	250
Amortissement de l'installation, 15.000 francs à 5 0/0.....	900
Amortissement des bâtiments contenant les chaudières et la machine, estimés à 6.000 francs, à raison de 2 0/0.	120
Intérêt à 5 0/0 de la valeur totale de l'installation, soit 21.000 francs.....	1.050
Salaires du machiniste et du chauffeur.....	3.200
	9.820

Le prix de revient du cheval effectif est donc :

$$\frac{9.520}{25} = 380 \text{ francs en chiffres ronds,}$$

soit 12 à 13 centimes le cheval-heure.

Pour les petites machines, le prix de revient du cheval-an est supérieur à 450 francs; pour les grosses machines, il descend au-dessous de 250 francs.

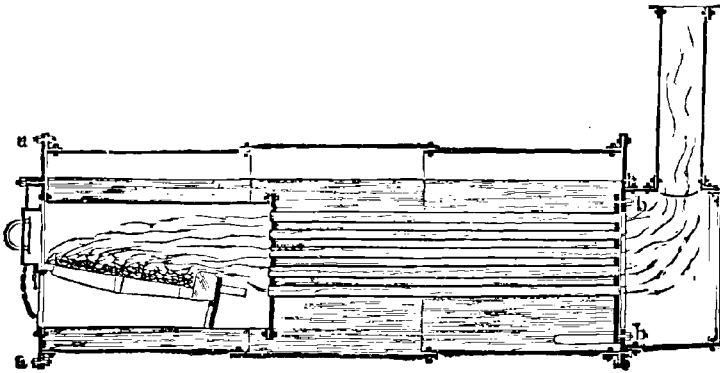


FIG. 81.

Vu leurs avantages pour la production de forces d'importance moyenne, nous dirons ici quelques mots des locomobiles. Ces machines

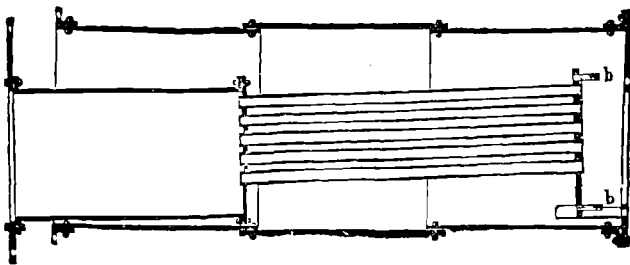


FIG. 81 bis.

sont caractérisées avant tout par la réunion sur un même bâti de la chaudière et de la machine à vapeur. Pour certaines applications, cet ensemble est monté sur roues (*fig. 82*), ce qui permet de le déplacer aisément. La chaudière est tubulaire et à foyer intérieur, ce qui assure une très bonne utilisation du combustible (*fig. 81*). Pour faciliter

l'élimination des dépôts de tartre sur les tubes, le faisceau de tubes et le foyer peuvent être retirés de l'enveloppe extérieure, comme le montre la figure 81 *bis*; il suffit de défaire les boulons placés en *a* et en *b*.

Pour éviter toute condensation dans le cylindre à vapeur, celui-ci est souvent placé dans le dôme à vapeur. Ses parois sont constamment chauffées par la vapeur qui l'entourne de toutes parts. Malgré ce dis-

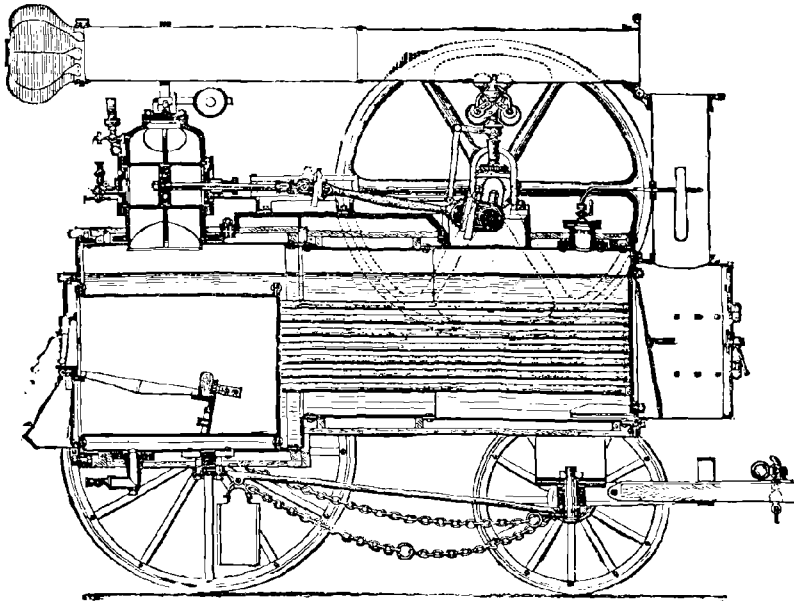


FIG. 82.

positif, le piston et le tiroir de distribution sont facilement accessibles. Toutes les parties du mouvement sont disposées de façon à pouvoir être aisément graissées.

Les principaux avantages des locomobiles peuvent se résumer comme suit : elles sont peu coûteuses de premier achat, occupent très peu de place, utilisent bien les combustibles et ne donnent lieu à aucune canalisation de vapeur. Leur surveillance est facile et les réparations sont peu fréquentes. Enfin, la chaudière n'exige aucune maçonnerie; les fondations peuvent être très légères et la cheminée en tôle est beaucoup moins coûteuse.

MOTEURS A EXPLOSION

Pour la production de force motrice d'une façon intermittente, on emploie parfois les moteurs à explosion, qui utilisent la pression développée par la combustion d'un gaz ou d'un liquide gazéifié (pétrole, benzine, alcool). Cette substitution est assez rare dans les fabriques de produits chimiques, car la nécessité d'avoir de la vapeur à sa disposition est presque constante, et l'on utilise très fréquemment la vapeur d'échappement des moteurs à vapeur au chauffage d'autres appareils.

L'emploi des moteurs à gaz s'est très répandu dans un grand nombre d'industries depuis que l'on est parvenu à construire des moteurs de plusieurs centaines de chevaux utilisant des gaz à pouvoir calorifique peu élevé : gaz de haut-fourneau, gaz de gazogène, gaz à l'eau, etc. Ces moteurs à gaz fournissent d'assez bons résultats pour pouvoir soutenir la concurrence des grosses machines à vapeur. Les gazogènes permettent d'obtenir un gaz dont le pouvoir calorifique est d'environ 80 0/0 de celui du combustible employé et, d'autre part, la transformation de la chaleur en énergie mécanique s'effectue avec un bien meilleur rendement dans le moteur à gaz que dans la machine à vapeur.

Les moteurs à gaz travaillent en quatre phases successives et par une seule des faces de leur piston. Pendant la première course du piston, le cylindre se remplit de gaz mélangé avec la quantité d'air nécessaire à sa combustion ; ce mélange est comprimé pendant la course ultérieure du piston, puis enflammé. L'augmentation de volume due à la combustion chasse vivement le piston qui, à sa course suivante, évacue les produits de la combustion.

Les quatre phases successives sont donc les suivantes :

Aspiration du gaz et de l'air ;

Compression ;

Explosion ;

Évacuation des produits de la combustion.

Un volant maintient la vitesse uniforme pour remédier au fait qu'il n'y a qu'une explosion motrice tous les deux tours de l'arbre moteur. L'inflammation du gaz est produite par une étincelle électrique ou par contact avec un tube de platine porté à l'incandescence par une source de chaleur extérieure.

Les moteurs à pétrole, à benzine ou à alcool sont basés sur le même principe ; le combustible liquide est préalablement gazéifié et mélangé avec l'air nécessaire à sa combustion au moyen d'un appareil appelé *carburateur*. Les moteurs à explosion possèdent l'avantage de ne présenter aucun danger, de se mettre en marche instantanément et d'être légers et peu encombrants. En outre, ils ne nécessitent aucune surveillance, ce qui, dans bien des cas, compense largement le prix assez élevé du combustible qu'ils emploient. Les moteurs à gaz de 8 à 10 chevaux consomment 800 litres de gaz par cheval et par heure lorsqu'ils fonctionnent à pleine charge ; le rendement est moins bon si l'on n'utilise qu'une partie de la force maxima qu'ils peuvent produire. La consommation par cheval-heure s'abaisse à 500 litres pour les moteurs de 30 à 50 chevaux et s'élève, au contraire, à 1.800 litres pour ceux de 2 chevaux.

Les moteurs à air chaud peuvent concurrencer les machines à vapeur pour la production d'une faible force. L'air atmosphérique est chauffé dans un espace clos, et son augmentation de pression est utilisée pour faire mouvoir un piston dans un cylindre. L'air se détend dans le cylindre et par suite se refroidit ; il s'échappe à l'autre extrémité du cylindre. La consommation de charbon est de 8 à 3 kilogrammes par cheval-heure suivant la puissance du moteur. Ces moteurs ne sont guère employés que pour des forces inférieures à 2 chevaux.

Les moteurs électriques constituent plutôt des organes de transmission que des appareils producteurs de force motrice, car ils ne peuvent fournir de l'énergie qu'à la condition que celle-ci soit produite préalablement, transformée en courant électrique, et qu'elle leur soit envoyée par des fils conducteurs.

Les moteurs électriques sont de construction différente suivant qu'ils utilisent un courant continu, alternatif ou polyphasé. Leur construction est semblable à celle des dynamos génératrices de courant continu alternatif ou polyphasé. Les moteurs à courant polyphasé présentent sur les moteurs à courant alternatif le grand avantage de ne jamais

s'arrêter complètement, comme ces derniers, lorsqu'ils sont surchargés, mais seulement de tourner plus lentement dans ce cas. Leur construction est très simple ; ils se mettent en marche d'eux-mêmes, et même à pleine charge leur allure est très régulière, et, à puissance égale, ils sont beaucoup plus légers et bien meilleur marché que les moteurs à courant alternatif. Mais leur avantage essentiel, c'est qu'ils ne possèdent pas de collecteur, partie qui, dans les autres moteurs, est sujette à très fréquentes réparations. En raison de ces multiples avantages, les courants polyphasés sont de plus en plus employés pour les transports de force à distance.

Les moteurs à courant continu sont supérieurs aux moteurs à courant alternatif en ce qui concerne leur simplicité et leur sécurité de fonctionnement ; en outre, leur allure est beaucoup plus régulière et indépendante de la charge qu'ils ont à supporter.

CHAPITRE II

TRANSPORTS DE FORCE

L'énergie mécanique fournie par les moteurs divers décrits au chapitre précédent est transportée aux différents points où elle doit être utilisée et transmise aux appareils à faire fonctionner par différents procédés, qui sont les transmissions par courroie ou par courant électrique et, dans quelques cas assez rares, l'eau et l'air sous pression.

TRANSMISSIONS

La transmission de force s'effectue le plus simplement au moyen d'arbres portant des poulies sur lesquelles des courroies, des câbles en chanvre ou en fil d'acier prennent point d'appui. Dans certains cas, on emploie des chaînes articulées engrenant sur des pignons dentés. Parmi ces différents dispositifs, on choisit le mieux approprié, suivant la distance des deux arbres à commander et la force à transporter.

Le transport par courroie est le plus simple et le plus employé. On lui donne la préférence toutes les fois que l'importance de la force à transmettre et la longueur de courroie nécessaire ne la rendent pas trop coûteuse. Lorsque la distance des deux arbres dépasse 15 mètres, les câbles en chanvre sont plus économiques. En ce qui concerne la

force que l'on peut transporter au moyen d'une seule et même courroie, elle est limitée par les conditions de la fabrication des courroies ; les courroies d'une largeur inférieure à 500 millimètres sont simples, c'est-à-dire que leur épaisseur est d'environ 4 millimètres. Si la force à transporter est plus considérable, on emploie des courroies doubles d'une épaisseur de 6 à 7 millimètres ; la largeur de ces courroies peut n'être que les 7/10 de celle d'une courroie simple. On doit toujours donner la préférence aux courroies simples, qui sont d'un meilleur usage en raison de leur souplesse et de leur plus grande surface de contact.

Le frottement des courroies sur les poulies et le glissement inévitable qui se produit entraînent une perte de vitesse qui peut s'élever à 50/0 dans les cas les plus défavorables.

Les courroies sont généralement confectionnées en cuir ; elles ne doivent être exposées ni à l'humidité, ni à une température trop élevée. L'humidité diminue leur résistance et occasionne leur allongement, ce qui entraîne leur glissement sur les poulies ; une température élevée les dessèche et les rend cassantes. Pour les conserver toujours en bon état, il est bon de les nettoyer de temps à autre au moyen d'eau de savon tiède, afin de les débarrasser de toutes les substances étrangères qui y adhèrent. On les fait ensuite sécher, puis on les imprègne d'un mélange de suif fondu et d'huile au moyen d'une brosse.

Dans certains cas, on emploie des courroies en tissu de coton, de poil de chameau ou en caoutchouc entoilé ; ces substances sont moins sensibles que le cuir aux variations du degré hygrométrique de l'atmosphère environnante.

Les deux extrémités des courroies sont réunies au moyen d'agrafes métalliques de différents systèmes ou cousues ensemble. Cet assemblage doit toujours se faire de telle façon que la face de la courroie qui vient en contact avec les poulies soit parfaitement plane et égale. On évite ainsi les chocs qui se produiraient à chaque fois que cette inégalité de la surface viendrait en contact avec la poulie.

La largeur de la courroie nécessaire pour transporter une force donnée s'obtient d'après la règle approximative suivante. On multiplie la puissance exprimée en chevaux par 30.000 et on divise par le produit du diamètre de la poulie par le nombre de tours qu'elle fait par minute. Exemple : Pour transporter 5 chevaux empruntés à un arbre faisant

150 tours par minute et muni d'une poulie de 80 centimètres de diamètre, il faudra une courroie de

$$\frac{5 \times 30.000}{80 \times 150} = 12^{\text{m}},5 \text{ de largeur.}$$

Il résulte de cela que la courroie peut être d'autant plus étroite que sa vitesse est plus grande.

La transmission par câbles de chanvre ne s'emploie que dans des espaces couverts et pour des distances allant jusqu'à 30 mètres. Le nombre des câbles peut être aussi élevé qu'il est nécessaire; ce qui permet de transporter des forces très considérables. Les poulies de transmissions sont à gorges; dans chaque gorge s'enroule un câble, et ces câbles peuvent actionner des arbres différents.

Le diamètre des câbles les plus employés varie entre 25 et 50 millimètres; on doit les installer de telle façon que le brin conducteur soit placé le plus bas. Les câbles verticaux nécessitent toujours un dispositif les maintenant tendus, car, dès qu'ils s'allongent un peu, le frottement du câble sur la poulie inférieure devient si faible que le câble n'est plus entraîné.

Lorsque les poulies ont un faible diamètre et sont peu éloignées, on emploie avantageusement des câbles en coton qui sont plus souples et plus élastiques que ceux en chanvre et donnent moins de secousses que ces derniers.

Si la force doit être transportée à une distance supérieure à 30 mètres, et à travers un espace non couvert, on a recours aux transmissions par câble métallique (câble téléodynamique), qui peuvent être employées pour des distances allant jusqu'à 2.000 mètres et pour toutes forces. Ces câbles sont soutenus de distance en distance (tous les 120 mètres environ) par des rouleaux mobiles sur leur axe. Lorsque la distance est considérable, on la franchit au moyen de plusieurs câbles successifs qui s'enroulent l'un et l'autre sur une même poulie portant deux gorges. Autant que possible, le brin inférieur doit servir à la transmission de la force.

Le diamètre des câbles métalliques varie entre 7 et 26 millimètres; on les choisit aussi minces que possible en augmentant leur vitesse de translation. Le diamètre des poulies à employer doit être environ 1.500 fois plus grand que celui du câble, et leurs gorges sont garnies

de cuir pour augmenter l'adhérence et diminuer l'usure du câble. Si la force à transporter est trop considérable pour pouvoir l'être au moyen d'un seul câble, on en dispose deux parallèles commandant deux poulies montées sur un même arbre.

L'assemblage des deux extrémités d'un câble doit s'effectuer à l'aide d'une épissure de façon que son diamètre reste partout le même. Les agrafes et serre-fils occasionnent des chocs à chacun de leur passage sur les poulies. Il en est de même des grandes variations dans la force utilisée et dans la vitesse de rotation; ces chocs éprouvent fortement le câble et tous les organes participant à la transmission de force.

Pour assurer une bonne conservation des câbles, on recommande les moyens suivants :

1° CÂBLES EN CHANVRE. — On prépare une solution de savon à raison de 100 grammes par litre d'eau, avec laquelle on imprègne le câble sec. Celui-ci est séché à nouveau, puis peint à l'aide de goudron fluide et chaud.

On peut encore employer le sulfatage, qui donne de très bons résultats. Le câble est immergé pendant quatre jours dans une solution renfermant 150 grammes de sulfate de cuivre par litre d'eau. Il est ensuite séché, puis goudronné comme ci-dessus. Ce procédé s'applique avantageusement à la conservation de toutes les matières d'origine végétale : paille, bois, toile de chanvre, etc.

2° CÂBLES MÉTALLIQUES. — On fait un mélange intime de suif fondu et de graphite possédant une consistance analogue à celle du beurre que l'on étend sur le câble à l'aide d'une brosse. Cet enduit est à renouveler toutes les quatre ou six semaines; il protège très efficacement de la rouille et diminue le frottement du câble sur les poulies, en même temps que celui des différents fils métalliques les uns sur les autres, car il pénètre dans les moindres interstices. On peut encore employer un mélange d'huile de lin brute et de goudron végétal.

Pour les câbles immergés dans l'eau ou enfouis dans le sol, on prépare à chaud un mélange de 35 parties de chaux et 50 et 60 parties en volume de goudron de houille ou de bois. Le mélange est étendu à chaud.

Les chaînes articulées de différents systèmes (chaînes Galle, Vaucanson, etc.) ne s'emploient que lorsque le faible diamètre des poulies, le rapprochement des arbres, la température ou l'humidité du milieu, etc.,

s'opposent à l'emploi de courroies ou de câbles. Nous reviendrons sur ce sujet dans le chapitre suivant.

TRANSPORT DE FORCE PAR L'ÉLECTRICITÉ

L'emploi de courants électriques de plus en plus intenses pour l'éclairage électrique a conduit à entreprendre des essais en vue d'utiliser ces courants à la production de l'énergie mécanique. Ces essais ont abouti à la réalisation pratique du transport de la force motrice par l'intermédiaire de l'électricité, application qui présente des avantages considérables sur tous les autres modes de transport de l'énergie.

L'installation nécessaire est extrêmement simple : elle ne comprend que deux dynamos réunies par deux ou plusieurs conducteurs métalliques.

Lorsque l'induit d'une machine dynamo-électrique tourne dans le champ magnétique formé par les deux pôles de l'électro-aimant, il est parcouru par un courant induit que l'on peut recueillir et utiliser. Réciproquement, si l'on envoie un courant électrique dans l'induit d'une dynamo, celui-ci est sollicité par les forces du champ magnétique et se met à tourner. C'est sur cette propriété qu'est basé le transport de force par le courant électrique. La dynamo génératrice du courant est actionnée par un moteur quelconque : turbine, machine à vapeur, moteur à gaz ou à pétrole, etc. On réalise ainsi la transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique ; cette dernière est amenée, au moyen de câbles ou de fils de cuivre, à une dynamo réceptrice qui la transforme à nouveau en énergie mécanique.

Le courant électrique absorbé par la dynamo réceptrice peut naturellement être fourni par une batterie de piles ou d'accumulateurs ou emprunté à un secteur d'électricité.

La dynamo réceptrice, le plus souvent appelée électromoteur ou moteur électrique, commande les machines à actionner par l'intermédiaire d'une courroie, d'un train d'engrenages ou de tout autre moyen. Elle peut aussi être directement montée sur l'arbre à mettre en rotation.

On a ainsi le moyen de produire la force motrice exactement à l'endroit où elle est nécessaire et de l'utiliser simultanément en plusieurs points qui peuvent être très éloignés les uns des autres.

Cet avantage est particulièrement précieux dans les usines de produits chimiques, où il arrive très fréquemment que l'on a besoin de petites forces en de nombreux points différents de l'usine et, le plus souvent, d'une manière intermittente. Dans un pareil cas, l'énergie absorbée par les transmissions devient considérable, eu égard à la force disponible au point voulu. Les petites machines à vapeur sont très peu avantageuses dans un pareil cas, car leur rendement est beaucoup moins satisfaisant que celui des grosses machines. L'emploi du courant électrique permet de diminuer considérablement les frais de première installation et les frais d'entretien d'une installation de ce genre.

Le rendement est influencé par la production de chaleur dans les deux dynamos et surtout par la résistance du câble conducteur. Ces pertes, fort importantes dans les premières installations de ce genre, ont été considérablement atténuées par les perfectionnements successifs apportés à la construction des dynamos. En ce qui concerne la perte en ligne, on peut la limiter à volonté par l'emploi de câbles à grande section et haute conductibilité ou encore par l'emploi de tensions très élevées.

L'emploi d'un courant à 25.000 volts a permis de transporter la force motrice, avec un rendement de 75 0/0, de Laufen, sur le Neckar, à Francfort, villes distantes de 175 kilomètres.

Les avantages du transport de force par l'électricité sur les autres modes de transmission peuvent être résumés comme suit :

1° La construction du moteur électrique est beaucoup plus simple que celle de n'importe quel autre, puisque l'on obtient directement un mouvement rotatif continu et que l'on évite les bielles et tous les dispositifs nécessaires pour ramener à ce mouvement le mouvement alternatif et rectiligne fourni par les autres moteurs : machines à vapeur, moteurs à gaz ou à pétrole, etc. Ces mécanismes doivent toujours être l'objet d'une surveillance attentive et sont soumis à une usure rapide, malgré un graissage abondant. La simplicité des moteurs électriques leur assure une usure faible ; ils exigent peu de réparations et peu de surveillance ;

2° La vitesse de rotation d'un électromoteur reste sensiblement constante quelle que soit sa charge et sans qu'il y ait besoin de recourir à un régulateur. En outre, un moteur électrique peut fournir pendant un certain temps une force très supérieure à celle qu'il donne normalement, et cela sans ralentir sa vitesse et sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à l'emploi d'un volant. Il est très facile de régler un moteur électrique à une vitesse de rotation constante, ce qui le rend plus avantageux que les machines à vapeur et les moteurs divers, toutes les fois que la régularité de marche est nécessaire.

3° Le moteur électrique est très peu encombrant et léger; il ne donne pas naissance à des trépidations et peut être installé sans aucun inconvénient aux étages les plus élevés et dans des constructions légères;

4° Tandis que le rendement des machines à vapeur et des moteurs à gaz diminue rapidement avec leur grandeur, les petits électromoteurs conservent encore un rendement satisfaisant. Dans les installations de production de force par la vapeur, il est nécessaire d'employer un nombre de machines aussi restreint que possible, si l'on veut travailler dans des conditions économiques. On est ainsi conduit à installer des arbres de transmission très longs et très lourds et à distribuer la force au moyen d'un grand nombre de poulies, de courroies, d'engrenages, etc. Ces transmissions sont coûteuses et exigent des fondations et des constructions particulièrement solides. En outre, elles nécessitent un emplacement considérable et beaucoup de surveillance, tout en absorbant une fraction importante de la force à transmettre.

Le transport de force par l'électricité permet de fournir l'énergie partout où elle est nécessaire, quelle que soit la disposition des lieux. L'installation se faisant à très peu de frais, il est possible d'avoir recours à la commande électrique même dans le cas d'une installation provisoire, cas où l'on pourrait songer à la mise en place d'une transmission par courroies et arbres de transmissions. La perte d'énergie dans les conducteurs peut être abaissée à 1 0/0 dans l'intérieur d'un même établissement. Les grues, les essoreuses, les agitateurs, les pompes centrifuges, les ventilateurs, etc., peuvent être commandés directement et très avantageusement par moteurs électriques.

5° La sécurité des installations électriques égale leur simplicité, et

les accidents de travail sont beaucoup moins à redouter dans les installations électriques que dans les autres.

Signalons encore les avantages suivants, qui ont bien leur importance :

a) L'électromoteur peut être très rapidement mis en marche ou arrêté, et cela de n'importe quel point de l'installation ;

b) La consommation d'énergie peut être contrôlée d'une façon permanente par la simple lecture d'un ampèremètre ; on peut déterminer exactement le rendement de l'installation. Les pertes d'énergie par transmission cessent complètement dès que le moteur est arrêté, tandis que les transmissions par courroies et poulies consomment en tout temps une énergie qui n'est nullement négligeable, et cela même lorsqu'elles tournent à vide.

Enfin, il est souvent difficile ou impossible de protéger les arbres et toutes les parties métalliques des transmissions ordinaires de l'action pernicieuse des vapeurs acides, tandis qu'il est très facile de protéger efficacement les conducteurs électriques de ces effets.

Ces avantages considérables ont conduit, dans de très nombreuses usines de produits chimiques, à employer des moteurs électriques pour le fonctionnement des centrifuges, des ventilateurs, des agitateurs, etc. Même dans le cas où les frais de première installation seraient un peu plus élevés, on trouve grand avantage à y avoir recours sous le rapport de la commodité du travail et de la diminution des frais d'entretien.

En terminant, rappelons que le transport de force par l'électricité est le moyen qui a permis d'utiliser avantageusement un grand nombre de chutes d'eau situées dans des régions peu accessibles.

EAU SOUS PRESSION

L'eau sous pression est utilisée dans certains cas pour les transports de force à l'intérieur d'une usine, sur les quais d'un port, etc. L'eau est comprimée à une pression élevée (jusqu'à 100 atmosphères)
7

au moyen de pompes spéciales, puis distribuée au moyen d'une canalisation aux différents moteurs hydrauliques à mettre en marche.

Pour obtenir une pression régulière et un travail économique, l'eau sous pression est emmagasinée dans des accumulateurs alimentés par la pompe ; ce sont ces réservoirs qui fournissent l'eau sous pression. La pompe est mise en marche ou débrayée automatiquement par l'accumulateur, et cela de façon que la pression reste toujours constante.

On diminue les frais d'entretien en recueillant l'eau usée et la faisant servir à nouveau après compression. L'eau sous pression est surtout employée pour la mise en marche des ascenseurs et la manutention des charges très lourdes dans les gares. Quelques fabriques de produits chimiques, dans lesquelles on emploie fréquemment la presse hydraulique, utilisent avantageusement la même canalisation d'eau sous pression pour actionner d'autres appareils.

AIR COMPRIMÉ

Les avantages particuliers de l'air comprimé sont encore très vivement discutés par les partisans du transport de force électrique. Il est surtout employé pour actionner les perforatrices employées dans l'exploitation des mines, le percement des tunnels, etc. L'air s'échappant des moteurs assure la bonne ventilation des chantiers de travaux, et l'on résout ainsi deux importantes questions en une seule et même fois.

La distribution de la force motrice dans les villes au moyen de l'air comprimé a d'abord été appliquée à Paris par Popp. Les premières installations de ce genre ont eu à lutter contre de nombreuses difficultés que l'on a vaincues par l'emploi de compresseurs d'air perfectionnés et l'alimentation des moteurs au moyen d'air réchauffé avec injection d'eau. Lors de la compression de l'air à la pression désirée il y a élévation de sa température ; l'on y remédie en refroidissant les cylindres au moyen d'une double enveloppe à circulation d'eau.

Réciproquement, lorsque l'air se détend dans le cylindre du moteur, il se refroidit considérablement. On peut régler à volonté la température de l'air mis en liberté en chauffant au préalable l'air comprimé. Cette particularité est utilisée dans certains cas pour produire simultanément la force motrice dont on a besoin, et un courant d'air froid pour la réfrigération des caves de brasserie, par exemple. La ville d'Offenbach-sur-Main est alimentée en force motrice au moyen d'air comprimé; la rémunération exigée des consommateurs est calculée de telle façon que les autres modes de production de petites quantités de force ne peuvent lui faire concurrence.

D'après les données du professeur Riedler, la perte d'air par les joints ne serait à Paris, pour une canalisation de 17 kilomètres de longueur, que de 2,5 0/0, et les branchements ne l'élèveraient qu'à 5 0/0. La perte de charge varie entre 0,05 et 0,07 atmosphère par kilomètre.

Le fonctionnement des moteurs à air présente l'avantage d'être sans danger et de ne pas exiger de connaissances spéciales. En outre, ces moteurs peuvent être installés à tous les étages et sans fondations.

CHAPITRE III

MOYENS DE TRANSPORT DES SOLIDES, DES LIQUIDES ET DES GAZ

Pour pouvoir fabriquer un produit, quelle que soit sa nature, dans de bonnes conditions économiques, on doit avant tout réduire au minimum les frais occasionnés par son transport. Cette économie ne s'applique pas seulement au transport des matières premières et des produits fabriqués, mais aussi à celui des produits intermédiaires à l'intérieur de l'usine elle-même. La dépense occasionnée par un système de transport mal compris peut être à elle seule la raison pour laquelle une fabrication donnée n'est pas rémunératrice dans une usine, alors qu'elle est avantageuse dans telle autre usine mieux partagée sous ce rapport.

Pour établir une usine nouvelle, on doit chercher autant que possible à la bâtir à proximité des gisements de matière première et, en outre, dans une situation telle que l'expédition des produits fabriqués puisse se faire avec le moins de frais possible. Ces deux conditions sont rarement conciliables, et l'on doit le plus souvent choisir entre la proximité de la matière première et celle du lieu de consommation. La connaissance exacte du rapport existant entre le poids de matières mises en œuvre et celui des produits fabriqués et, d'autre part, l'étude des tarifs de transport permettent seuls de se décider en connaissance de cause pour l'une ou l'autre de ces solutions.

Les avantages découlant de la présence d'une force motrice bon marché (force hydraulique, par exemple) peuvent être complètement annihilés par l'augmentation de frais de transport qui peut résulter de

la situation même de cette source d'énergie motrice. On doit apporter le plus grand soin à l'examen de ces questions vitales et très souvent décisives pour la viabilité de toute une entreprise industrielle.

Lorsque le transport des matières premières et des produits fabriqués a lieu par chemin de fer, on peut réaliser une très grande économie en reliant directement l'usine à la ligne de chemin de fer par un raccord de voie ferrée. Si ce raccord a la même largeur de voie que la voie ferrée principale, on évite ainsi tout transbordement des matières. Les wagons chargés de matières premières peuvent être déchargés à la porte même du bâtiment dans lequel elles doivent être traitées; de même, les produits fabriqués peuvent être mis en wagon dans l'usine même. En outre, on n'a pas besoin de faire l'acquisition d'un matériel roulant, et les mêmes voies peuvent servir aux transports à effectuer dans l'enceinte de l'usine. Cette solution a l'inconvénient d'exiger un vaste emplacement et de gêner la circulation à travers les cours de l'usine.

Les raccords de voie ferrée à largeur normale doivent être établis dans certaines conditions prescrites par les compagnies de chemins de fer. Le mieux est de s'en remettre aux compagnies elles-mêmes pour leur établissement. On est ainsi assuré que l'installation sera faite conformément à ces prescriptions. Les rails posés à l'intérieur de l'usine ne sont pas soumis à ces conditions d'établissement, et l'on peut les disposer de toute façon paraissant avantageuse, eu égard aux circonstances locales. Les plaques tournantes doivent être établies en tenant compte de la plus grande longueur des wagons et de leur charge maximum.

Dans les usines très importantes, on installe un réseau de voies ferrées de faible largeur pour le transport des matières premières à l'intérieur de l'usine elle-même. Ces voies étroites servent, par exemple, à transporter le charbon du point où il est accumulé aux lieux de consommation : générateurs, fours, etc.

Les chemins de fer à voie normale à une seule voie coûtent environ 3.000 francs par 100 mètres de longueur; ce prix est très variable suivant la nature du sol, les accidents de terrain, etc.

Le transport par câbles évite tout encombrement du terrain et ne gêne nullement la circulation; mais il est plus coûteux de première installation et, de plus, les matières doivent être déchargées et char-

gées à nouveau dans les wagons ou les bateaux qui doivent les transporter à destination. Cette solution est la plus employée lorsque la majeure partie des produits sont transportés par voie d'eau rendant un transbordement inévitable, et cela d'autant plus que les accidents de terrain ne gênent nullement l'établissement des câbles porteurs.

Dans d'autres cas, on préfère charger les matières, qu'elles soient

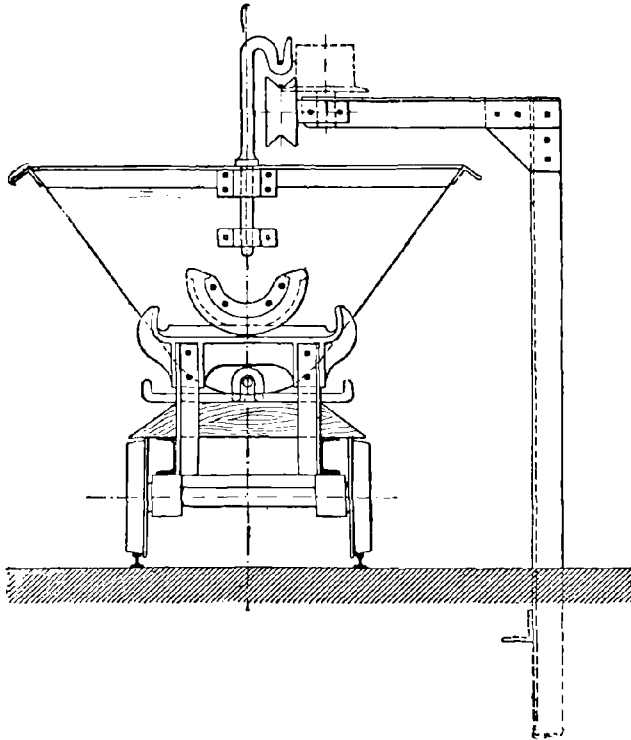


FIG. 83.

amenées par bateaux ou par wagon (combustibles, minéral, etc.) dans des wagonnets mus par un câble sans fin. Cette disposition est surtout avantageuse lorsque l'arrivée des matières premières a lieu d'une façon presque continue. L'installation comprend deux voies de rails parallèles ; dans l'axe de chaque voie est disposé un câble sans fin passant sur une poulie à chacune de ses extrémités et soutenu de distance en distance par des poulies folles. L'une des deux poulies extrêmes est mise

en mouvement par une force motrice appropriée, l'autre est munie d'un dispositif assurant au câble une tension toujours égale. Les wagons chargés circulent sur l'une des voies, les wagons vides sur l'autre voie parallèle; arrivés à l'extrémité de la voie, les wagons se détachent automatiquement. On les ramène sur l'autre voie dès qu'ils sont chargés à nouveau et on les accroche de nouveau au câble. La circulation est ainsi absolument continue. Les wagonnets peuvent être de n'importe quelle forme appropriée à la nature des matières à transporter.

Le câble tracteur est placé au-dessus ou au-dessous des wagonnets. La première disposition (*fig. 83*) est employée lorsqu'il est nécessaire de pouvoir mettre des wagonnets en circulation ou de les en sortir en un point situé sur le parcours du câble et intermédiaire entre les points extrêmes desservis par

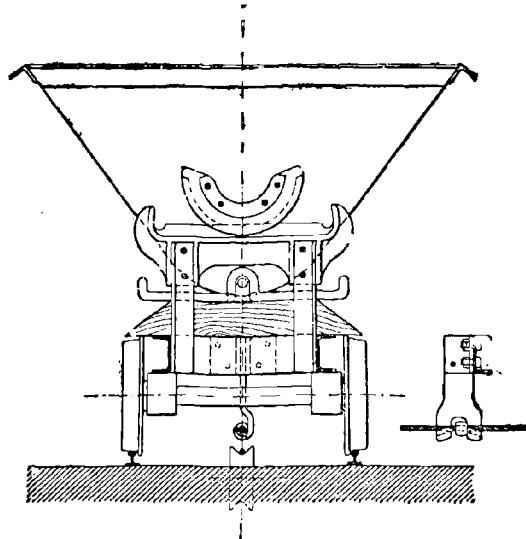


FIG. 84.

la voie. Lorsque l'échange des wagons ne doit se faire qu'aux deux extrémités de la ligne, on place le câble au-dessous de ces wagons (*fig. 84*). Il n'est pas indispensable que la ligne soit complètement droite et horizontale; elle peut affecter des courbes ou présenter des pentes en certaines de ses parties.

Dans les installations de transport par câbles, les câbles servant de voie sont placés parallèlement à la même hauteur et maintenus par des supports en bois ou en fer. Les câbles sont ancrés solidement à l'une de leurs extrémités et tendus à l'autre jusqu'à limite du $\frac{1}{5}$ de leur résistance à la rupture. Aux points où se trouvent des courbes ou des embranchements, on pousse les wagonnets à la main d'une voie sur l'autre.

Les câbles en fil d'acier sont exclusivement employés aujourd'hui ; leur diamètre est de 25 à 40 millimètres pour les wagonnets chargés et de 18 à 28 millimètres pour les wagons vides. Les supports sont espacés de 30 à 60 mètres ; mais cette distance peut être portée à 500 mètres, s'il s'agit de traverser un fleuve ou une forte dépression de terrain.

Le câble tracteur est en acier au creuset ; son diamètre est de 10 à 20 millimètres ; il est placé au-dessus des câbles porteurs et parallèlement à leur direction. Il prend point d'appui de distance en

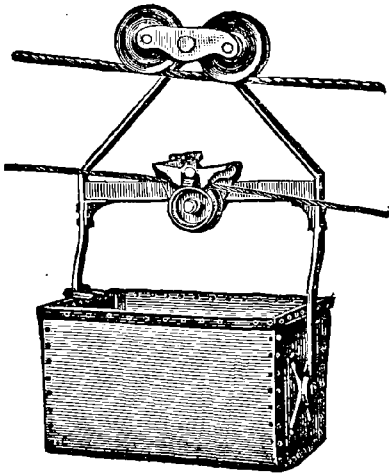


FIG. 85.

distance sur des rouleaux placés latéralement sur les supports déjà décrits. Ce câble passe à chacune de ses extrémités sur des poulies ; l'une d'elles est mise en mouvement et l'entraîne, l'autre ne servant qu'à le guider et à maintenir sa tension dans des limites convenables.

Chaque wagonnet comprend un chariot composé de deux poulies à gorge profonde, un dispositif de suspension avec appareil d'accouplement et un réservoir de forme appropriée. L'appareil d'accouplement, qui est la partie la plus importante a pour but de relier l'en-

semble au câble tracteur ; cet appareil est disposé de façon telle que le wagonnet se détache automatiquement en arrivant à la station extrême (*fig. 85*).

Le fonctionnement de ces transporteurs par câble est très simple et ne nécessite que peu de main-d'œuvre, puisqu'il suffit d'accrocher les wagons pleins à l'une des extrémités du câble et de les décrocher à l'autre. Le déchargement des wagons peut également être rendu automatique et s'effectuer soit à l'extrémité du parcours, soit en un point quelconque choisi à l'avance.

Lorsque l'on veut éviter les inconvénients inhérents à l'installation de voies ferrées à l'intérieur d'une fabrique ou que l'on recule devant les frais qu'elle entraîne, on peut avoir recours au chemin

de fer à voie supérieure. La disposition générale est la même que celle des transports par câble, avec cette différence que les câbles porteurs sont remplacés par un rail rigide supporté de distance en distance par des piliers en maçonnerie ou des poteaux en fer. Les wagons se meuvent au-dessous de ce rail et sont poussés à la main. Le chargement et le déchargement peuvent s'effectuer en n'importe quel point du parcours, et le passage n'est pas empêché ou gêné comme cela a souvent lieu avec les voies ferrées.

Nous devons encore faire remarquer que les transbordeurs par câbles aussi bien que les chemins de fer à voie supérieure peuvent être munis de dispositifs contrôlant automatiquement le nombre et le poids des wagons transportés. Les wagons possédant un poids inférieur au minimum fixé à l'avance sont dirigés vers un embranchement spécial, tandis que les autres continuent leur route. On peut encore combiner ce contrôleur automatique avec un appareil imprimant le poids de chaque wagon sur un ticket et enregistrant le nombre de wagonnets circulant sur la voie. Dans les premiers cas, il est nécessaire que les wagons vides suivent un parcours différent de celui que prennent les wagons chargés.

Les appareils destinés au transport des matières à l'intérieur même de l'usine peuvent être classés suivant qu'ils sont destinés à servir pour des produits solides, liquides ou gazeux. On peut encore les grouper suivant la direction dans laquelle le transport doit avoir lieu, plan horizontal, vertical ou incliné; mais cette division n'est pas générale, les mêmes dispositifs s'appliquant souvent dans plusieurs cas différents sous ce dernier rapport.

Pour transporter des matières sèches dans un plan horizontal, soit qu'il s'agisse d'amener les matières premières aux appareils qui doivent les traiter, soit que l'on veuille transporter les produits fabriqués dans les locaux où ils doivent être emmagasinés, on emploie très avantageusement les vis transporteuses. Ces appareils se composent (*fig.* 86) d'un couloir en tôle ou en fonte dans l'axe duquel tourne un arbre portant des spires en tôle.

Si les matières sont parfaitement sèches et en menus fragments, les spires et le conduit peuvent être en tôle; si elles sont humides ou en gros morceaux, on les construit de préférence en fonte dure. Les vis s'emploient pour des longueurs de 40 mètres au plus. On peut

les placer dans une position inclinée de 45° au maximum ; mais alors leur effet utile est naturellement beaucoup plus faible ; aussi ne les emploie-t-on dans ce cas que lorsque l'on ne peut avoir recours à

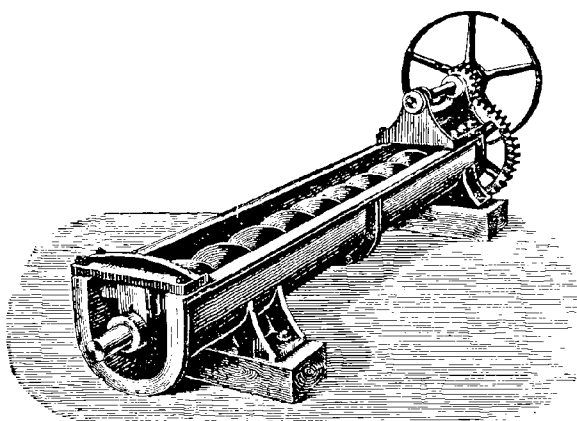


FIG. 83.

aucune autre disposition pour une raison quelconque. Les organes de graissage sont sujets à s'obstruer sous l'action des poussières dégagées, et l'on doit veiller à ce qu'ils soient aussi bien protégés que possible de leur introduction.

D'autres constructeurs remplacent la vis en tôle pleine par

un fer plat courbé en spirale (*fig. 86 bis*), de section telle qu'il ne puisse se déformer. Une partie de la matière à transporter est seule soumise à l'action directe de la vis, le reste est maintenu en mouvement par

le frottement mutuel des fragments les uns sur les autres. Les vis transporteuses de ce système sont plus légères et moins sujettes à usure et à réparations que les autres. Cette modification est due à la maison Kreiss de Hambourg. Cette même maison a innové un mode de transporteur à secousses se composant d'une rigole ouverte ou d'un tube fermé reposant sur des ressorts inclinés ou suspendus à des lames flexibles en acier. Une bielle prenant point d'appui sur le canal en tôle lui imprime un mouvement de va-et-vient continu (*fig. 87*). Les matières contenues dans le conduit en tôle sont mises en mouvement et progressent régulièrement d'une extrémité à l'autre de l'appareil. Chacun des fragments de matière reçoit son impulsion propre et n'est

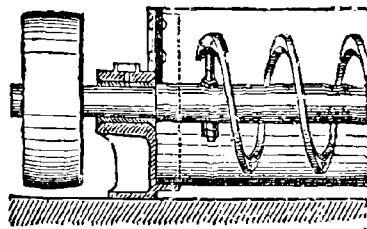


FIG. 86 bis.

pas soumis aux pressions des autres fragments. Les frottements sont réduits au minimum, les matières ne sont pas désagrégées et la force nécessaire est très faible. Grâce à cet appareil, on peut transporter des

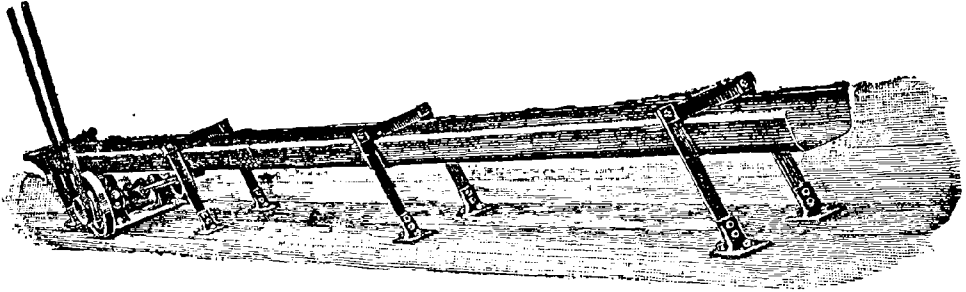


FIG. 87.

matières pulvérulentes ou fibreuses, sèches ou humides dans toutes les directions.

Pour transporter à grande distance et dans un plan horizontal des matières concassées ou pulvérisées, le dispositif le plus commode et

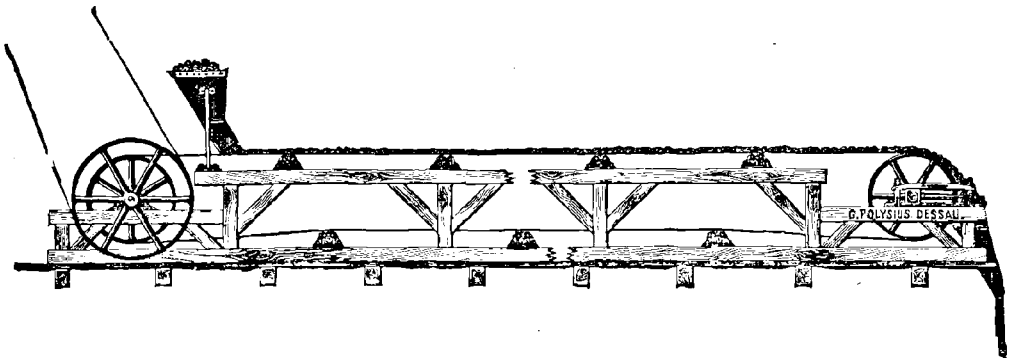


FIG. 87 bis.

le plus pratique est fourni par les bandes ou courroies transporteuses. Cet appareil comprend un large ruban sans fin constitué par une courroie en chanvre ou en caoutchouc; cette bande est soutenue de distance en distance par des rouleaux et mise en mouvement, à l'une de ses extrémités, par une poulie de commande. Les matières à transporter sont amenées en un point convenable du parcours de la courroie et sont automatiquement déversées à l'autre extrémité (*fig. 87 bis*). La courroie peut être plane ou avoir ses deux bords relevés de manière

à former une sorte de rigole. Sa tension est maintenue constante à l'aide d'un contrepoids ou des vis de rappel disposés à l'une de ses extrémités.

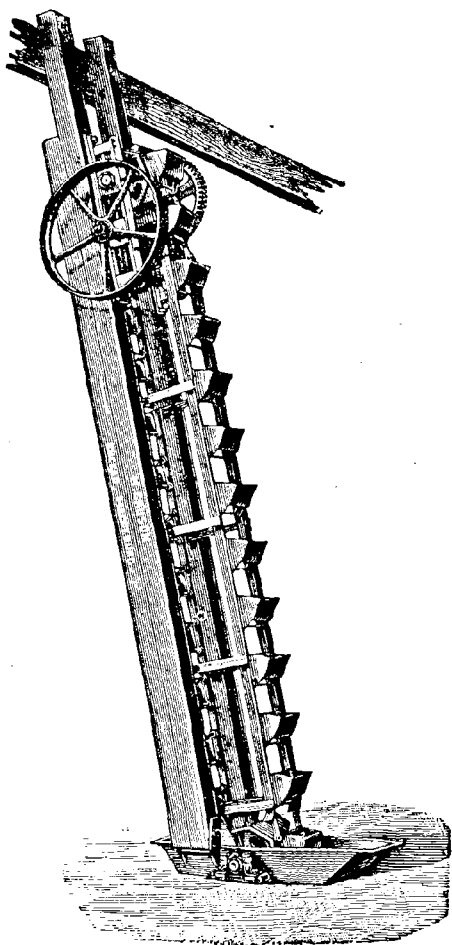


FIG. 88.

Lorsqu'il s'agit d'élever des matières selon une direction verticale ou très inclinée, on emploie les chaînes à godets. Celles-ci se composent d'un certain nombre de récipients en tôle fixés sur deux chaînes articulées ou sur une courroie en caoutchouc tendue sur deux rouleaux servant de guide. Le rouleau supérieur entraîne la courroie ou les chaînes dans son mouvement de rotation; le rouleau inférieur a pour but de guider la courroie et, en outre, de maintenir sa tension dans des limites convenables (*fig. 88*).

Les chaînes à godets sont placées dans une position verticale, s'il s'agit de transporter des matières sèches; si les matières à élever sont fluides, on leur donne une légère inclinaison, de manière que la matière s'écoule plus aisément. Les chaînes à godets peuvent être installées soit à l'air libre, soit à l'intérieur d'un canal en

bois ou en tôle. Avec cette dernière disposition on évite toute perte de matière, et l'on diminue beaucoup la formation de poussière. Cette précaution est indispensable s'il s'agit d'élever des matières fluides.

On remplace parfois les courroies des transporteurs et des élévateurs à godets par des chaînes articulées formées d'un certain nombre

d'éléments semblables en fonte (*fig. 89*). Il existe un grand nombre de systèmes d'appareils de ce genre. Leurs principaux avantages sont les suivants : la chaîne peut être allongée ou raccourcie à volonté en ajoutant un certain nombre d'éléments ; ces appareils sont très robustes et peu coûteux, ils peuvent s'installer à l'air libre et dans des endroits chauds et humides. Enfin, la chaîne n'a pas besoin d'être aussi fortement tendue

qu'une courroie et exige moins de force motrice. Les appareils de ce genre sont construits en série et leurs différentes pièces sont interchangeables, ce qui permet de remplacer très aisément celles qui pourraient devenir défectueuses. Dans le choix de leur dimension,

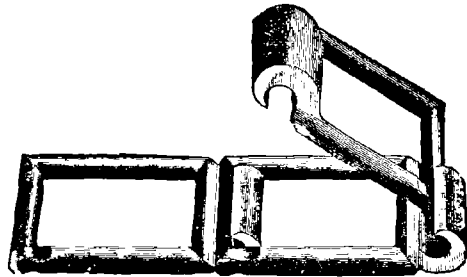


FIG. 89

on doit tenir compte de ce qu'étant en fonte elles sont toujours susceptibles de contenir des soufflures diminuant considérablement leur résistance.

Les moyens de transport qui viennent d'être décrits présentent le caractère commun d'être continus.

Parmi les appareils servant au transport des objets d'une manière intermittente, on doit citer les wagonnets, les monte-charges, les palans et les moufles.

Les wagonnets circulent ordinairement sur des rails. Ils peuvent être poussés à la main ou mus par câble, par la vapeur, l'électricité, etc. Ces wagonnets peuvent affecter les formes les plus variées suivant la nature des objets ou des matières à transporter. Ils sont très employés en raison du bon marché de l'installation et de son faible entretien. Lorsqu'ils doivent circuler directement sur le sol, on les munit de roues caoutchoutées qui amortissent les chocs et diminuent considérablement le bruit. La figure 90 représente un wagonnet en tôle muni de *casters* ; ces casters (*fig. 90 bis*) sont composés de deux roues placées sur un même axe et mobiles en tous sens autour d'un axe vertical. Grâce à cette disposition, ces roues peuvent s'orienter dans tous les sens avec la plus grande facilité et sans qu'il y ait ja-

mais de coincement à craindre. Les appareils qui en sont munis deviennent par ce fait d'une mobilité beaucoup plus grande, même lorsque la charge qu'ils ont à supporter est considérable.

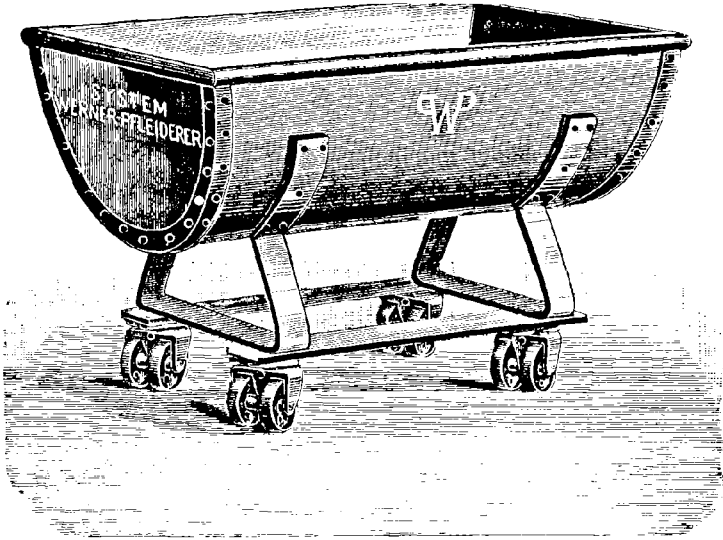


FIG. 90.

Les monte-charges sont constitués essentiellement par une plateforme horizontale mobile dans le sens vertical. Ils peuvent être mus directement par la vapeur ou l'eau sous pression, la plateforme étant perpendiculaire à la tige du piston. Dans ce cas, le piston et le cylindre sont placés au-dessous du niveau du sol. Si l'on ne dispose pas de l'emplacement nécessaire, on a recours à la commande indirecte par câble ou par chaîne s'enroulant sur une poulie. Cette poulie est mise en mouvement par un moteur électrique, un moteur à vapeur ou par l'eau sous pression.

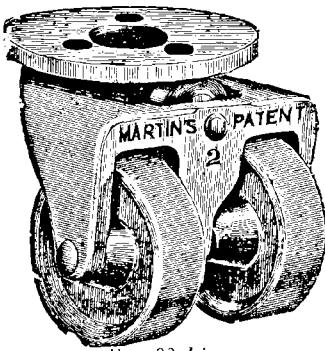


FIG. 93 bis.

La transmission par câble est d'une surveillance plus facile et exige moins de graissage que la transmission par chaîne.

La figure 91 représente un monte-charge mû par l'eau sous pression. La tige du piston porte une crémaillère qui engrène avec un pignon denté. La poulie de grand diamètre étant mise en mouvement, le câble s'enroule sur sa périphérie et soulève l'appareil. Les ascenseurs se meuvent dans un espace clos par des cloisons en planches ou en tôle; cette disposition est indispensable pour éviter tout accident. En outre, ils s'arrêtent automatiquement lorsqu'ils sont arrivés au plus haut point de leur course.

En cas de rupture des câbles ou de la chaîne, la chute de la plateforme est empêchée par des freins ou des appareils de sûreté à fonctionnement automatique.

Les moufles, les palans et les crics sont des appareils de levage employés pour soulever les objets lourds à quelques mètres au-dessus du sol. Dans sa forme la plus simple, le moufle se compose d'une poulie fixe et d'une poulie mobile reliée par un câble ou une chaîne. Cette dernière poulie porte un crochet auquel on attache l'objet à soulever. Pour augmenter le rapport existant entre les espaces parcourus

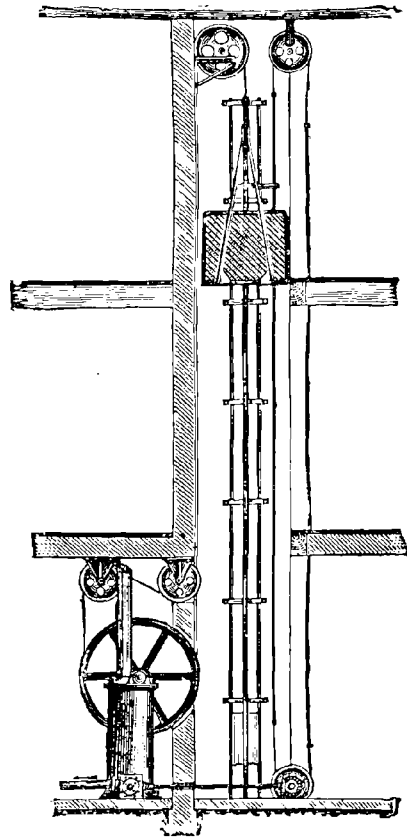


FIG. 91.

par la résistance et par la puissance, on dispose plusieurs poulies folles sur le même axe ou sur des axes parallèles. Cette combinaison est dénommée palan.

Les palans différentiels permettent de soulever, à effort égal, un poids plus considérable que les précédents. Ils sont caractérisés par la présence de deux poulies de diamètres différents sur un même axe supérieur; ces deux poulies sont d'une seule pièce et leurs mouve-

ments de rotation sont, par suite, les mêmes. Le fardeau à soulever est suspendu à l'axe d'une poulie mobile inférieure.

Une chaîne sans fin se meut sans glisser sur ces poulies en les entraînant dans son mouvement. Le rapport entre l'effort à exercer et le poids à soulever est généralement de $1/10^{\circ}$; il est égal à la différence de diamètre des poulies supérieures.

Les palans à vis présentent une plus grande sécurité que les palans différentiels et sont maintenant préférés. La chaîne portant la charge

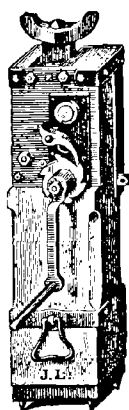


FIG. 92.

est fixée à la chape par l'une de ses extrémités, l'autre extrémité passe sur une poulie dont la gorge présente en creux l'empreinte des maillons de la chaîne, de manière à s'opposer à tout glissement de cette dernière. Cette poulie (noix à chaîne) est fixée sur un axe portant une roue dentée commandée par une vis sans fin qui peut être mise en rotation de la partie inférieure au moyen d'une chaîne légère. Le mouvement communiqué par la vis à la roue dentée n'étant pas réversible, la charge peut être abandonnée à n'importe quelle hauteur sans que l'on ait besoin de maintenir la chaîne de commande. La multiplication de l'effort exercé est très considérable, et un seul homme peut soulever jus-

qu'à 10.000 kilogrammes à l'aide de ces palans.

Les crics sont employés pour soulever une forte charge à faible hauteur (50 centimètres environ), en prenant point d'appui sur le sol. Le mouvement de rotation imprimé à la manivelle est transmis à une crémaillère au moyen de deux séries d'engrenages (*fig. 92*). Ces appareils sont très robustes et très puissants ; aussi les emploie-t-on très souvent. Une roue à rochet et un cliquet permettent d'immobiliser la crémaillère à n'importe quelle hauteur. On construit également des crics à vis (*fig. 93*), plus puissants encore que les précédents.

De même que les crics, les vérins hydrauliques (*fig. 94*) servent à soulever des fardeaux, soit par leur partie supérieure, soit par le sabot fixé à la partie inférieure du cylindre. Leur fonctionnement est analogue à celui d'une presse hydraulique verticale, dans laquelle le piston serait fixe et le corps de pompe mobile. Ils renferment une petite pompe mise en mouvement par l'intermédiaire d'un grand bras de levier

amovible. En rétablissant la communication entre les deux parties du

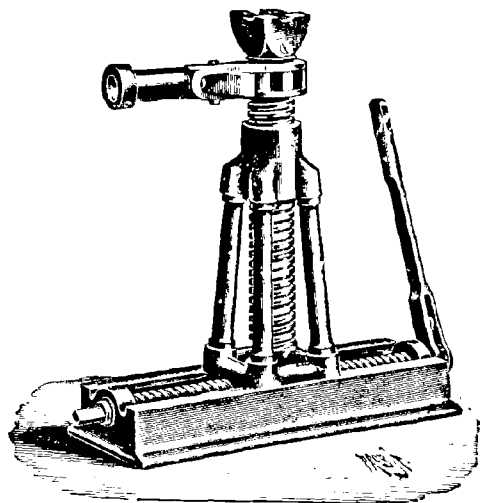


FIG. 93.

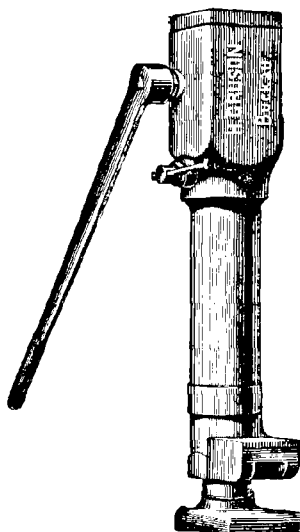


FIG. 94.

cylindre séparées par le piston, on peut laisser redescendre la charge progressivement. Ces appareils permettent de soulever jusqu'à 60.000 kilogrammes.

Les treuils sont d'une construction incomparablement plus variée. Sous leur forme la plus simple (fig. 95), ils comprennent un tambour sur lequel s'enroule le câble ou la chaîne servant à transmettre l'effort

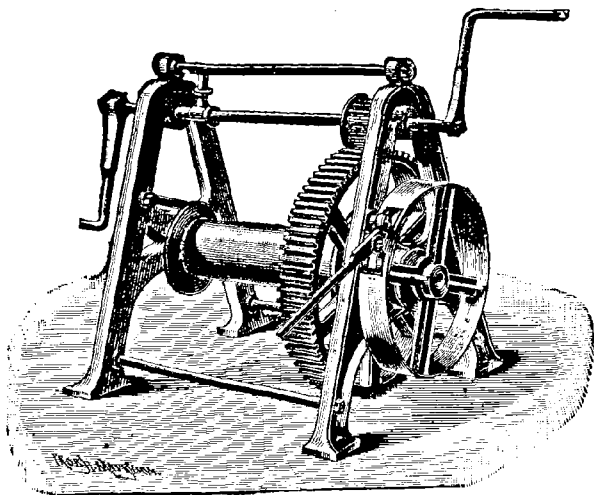


FIG. 95.

de traction. Ce tambour est mis en rotation à l'aide d'un jeu d'engrenages et d'une manivelle. L'axe du tambour porte une poulie sur la

jante de laquelle s'applique une lame en acier. Les deux extrémités

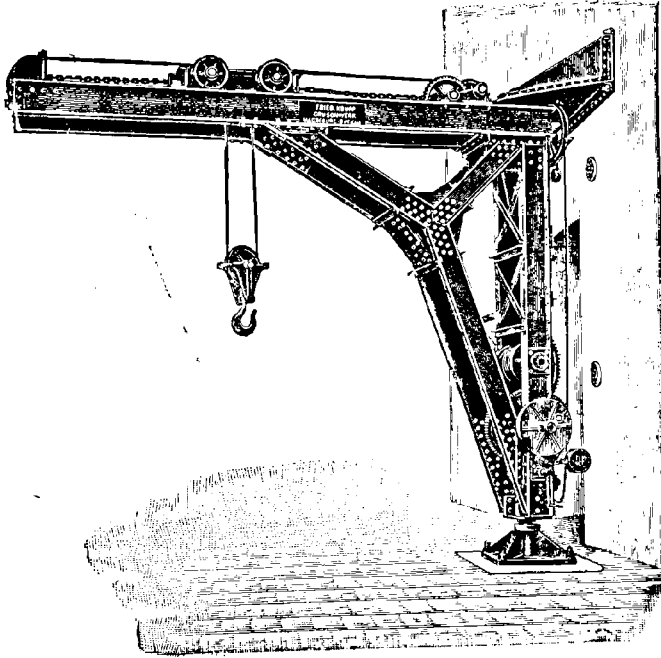


FIG. 96.

de cette lame peuvent être rapprochées à l'aide d'un levier et de

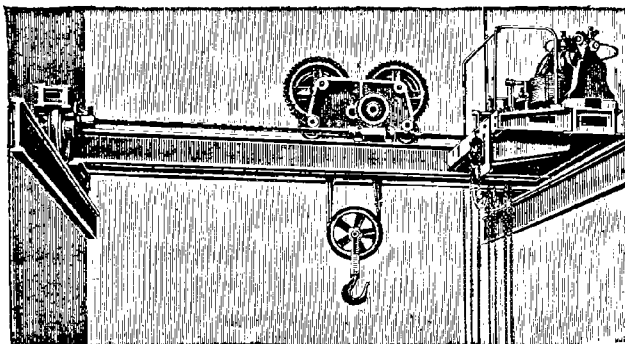


FIG. 97.

pièces articulées. On a ainsi le moyen de freiner énergiquement le

mouvement du tambour, lorsqu'il s'agit de laisser redescendre une lourde charge préalablement soulevée. Cette manœuvre doit s'effectuer avec la plus grande prudence, car elle est souvent l'origine de graves accidents. Les treuils peuvent être mus par la vapeur ou l'électricité lorsque la nature des charges à soulever l'exige.

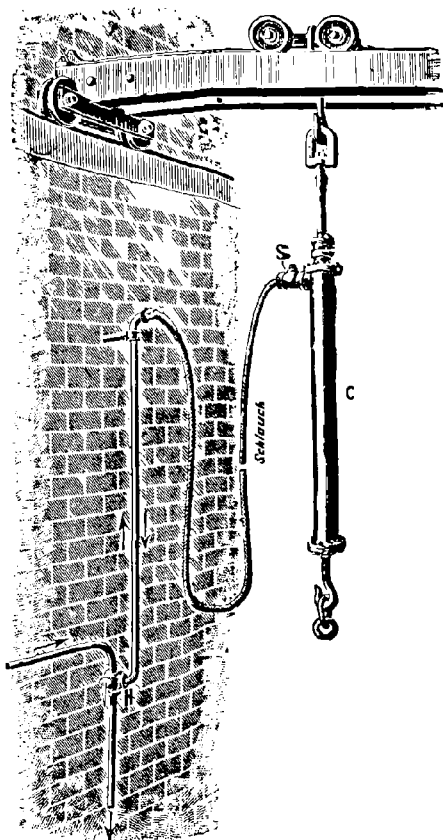


FIG. 98.

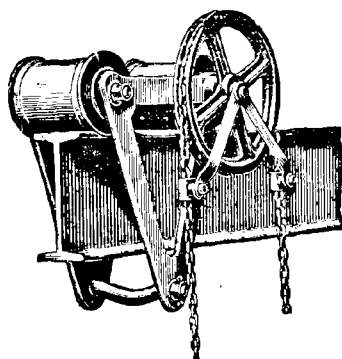


FIG. 99.

Les grues servent à déplacer un corps dans une direction verticale et, en même temps, dans le sens horizontal. Les unes sont montées sur roues et circulent sur des rails, les autres tournent autour d'un axe vertical servant de pivot (*fig. 96*). Les rails servant à la circulation de l'ensemble peuvent être placés à une assez grande hauteur au-dessus du sol; dans ce cas, l'appareil prend le nom de pont-roulant. Cette disposition est extrêmement commode pour manœuvrer de grosses pièces, mais on a rarement besoin d'y avoir recours dans l'industrie chimique. Les grues et les ponts-roulants ne fonctionnant que d'une manière très intermittente, on trouve grand avantage à les commander électriquement (*fig. 97*).

La figure 98 représente une grue de construction spéciale, cons-

truite par Klein, Schanzlin et Becker, utilisant l'eau sous pression pour le levage des fardeaux. Cette grue peut être déplacée à volonté en allongeant le tube souple qui la relie à la canalisation d'eau. Une soupape de sûreté disposée en S s'oppose à ce que l'eau ne soit chassée, ce qui aurait pour conséquence la chute brusque de la charge soulevée, dans le cas où le tube d'arrivée de l'eau viendrait à éclater. Il suffit de manœuvrer le robinet à trois voies H pour soulever la charge, la maintenir en place ou la faire redescendre.

Lorsque la charge soulevée n'a besoin d'être déplacée que dans une seule direction horizontale, le palan ou le moufle est fixé à un chariot (*fig. 99*), qui peut se déplacer tout le long d'une poutre en fer de section appropriée. Ce chariot est constitué par deux cylindres accouplés par une armature en fer. Le chariot est mis en mouvement à l'aide d'une chaîne ou encore à l'aide d'une roue dentée transmettant son mouvement de rotation par une chaîne à maillons articulés.

Cette disposition est très peu coûteuse et très employée lorsqu'il s'agit de soulever fréquemment un seul et même objet, par exemple le couvercle d'un appareil à distillation, d'une chaudière, etc.

TRANSPORT DES LIQUIDES

Il existe toute une série d'appareils pouvant servir à transporter les liquides ; citons les pompes de divers systèmes, les pulsomètres, les injecteurs, les élévateurs à jet d'eau, les monte-jus, etc. Le choix de l'appareil le mieux approprié à chaque cas particulier n'est pas toujours une chose facile. De plus, comme on a souvent l'occasion de transporter des liquides susceptibles d'exercer une action chimique sur les matières entrant dans la construction de ces appareils, on doit tenir soigneusement compte de la nature de celles-ci. Pour cette raison, nous commencerons par dire quelques mots de la façon dont les différents matériaux de construction se comportent vis-à-vis des agents chimiques.

La fonte résiste un peu mieux que le fer forgé ou la tôle à l'at-

taque des réactifs. De plus, la confection des différentes parties des pompes, injecteurs, etc., nécessite l'emploi d'un métal coulé. Pour ces motifs et en raison de son bon marché, la fonte est très employée pour les applications de ce genre.

Les acides dilués attaquant rapidement la fonte et le fer, on protège parfois ces métaux par un revêtement en plomb. Ce revêtement est d'autant plus durable qu'il

est plus épais. Grâce à certains artifices de coulée, on parvient à obtenir un revêtement d'une seule pièce, sans aucune soudure et de telle épaisseur que l'on désire. Le plombage par immersion dans un bain de plomb fondu ne laisse qu'une couche extrêmement mince et complètement insuffisante pour protéger le métal sous-jacent de l'attaque des acides même les plus faibles. La figure 100 représente une chaudière et son couvercle doublés d'une couche de plomb. Ce procédé s'applique à tous

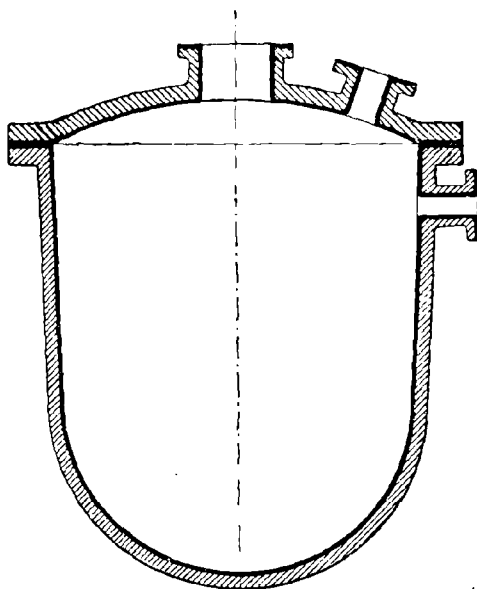


FIG. 100.

les appareils, quelles que soient leurs formes et leurs dimensions et à tous les métaux (fonte, tôle, cuivre, etc.).

Les agitateurs en fer peuvent être plombés par ce même procédé ; leur durée est beaucoup plus grande que celle des agitateurs en plomb laminé. Le revêtement est toujours exposé à s'user par frottement : mais il peut être aisément remplacé dès que cela devient nécessaire.

Il est très important que la couche de plomb adhère sur toute la surface du métal qu'elle recouvre. Sans cela il ne tarderait pas à se former des boursouflures provenant de l'inégale dilatation des deux métaux. Ces boursouflures ou poches exposent le revêtement à être

percé avec la plus grande facilité. Les liquides acides, pénétrant alors entre le métal attaquant et le revêtement en plomb, ne tardent pas à mettre l'appareil complètement hors d'usage.

Les métaux et les alliages les plus employés pour résister à l'attaque des agents chimiques sont les suivants : platine, or, argent, cuivre, étain, zinc, laiton, bronze, métal Delta, aluminium. Enfin, dans des cas particuliers, on a recours au caoutchouc, à l'ébonite, à l'émail et au grès.

Les métaux précieux (or, platine et argent) ne sont employés qu'exceptionnellement en raison de leur prix élevé et de leur travail plus ou moins difficile. On n'a recours à eux que lorsque l'on ne peut faire autrement, les autres matériaux étant reconnus insuffisants ou impropres au but que l'on se propose.

Le cuivre est très employé pour la confection des tuyauteries compliquées ; il est en effet facile à travailler sous les formes les plus variées. Il peut être soudé ou brasé avec la plus grande facilité. Les tuyauteries en cuivre sont beaucoup plus coûteuses que celles en fer ; mais elles présentent l'avantage de conserver toujours une valeur. Le vieux cuivre se vend généralement dans de bonnes conditions. Au contraire, les canalisations et les appareils en fer perdent presque toute valeur lorsqu'ils sont quelque peu détériorés ou qu'ils ont été construits en vue d'une application spéciale.

Le cuivre résiste bien aux agents atmosphériques. L'eau distillée obtenue par condensation de la vapeur dans des serpentins en cuivre dissout et entraîne facilement de petites quantités de ce métal, fait dont on doit tenir compte, le cas échéant. L'action dissolvante des sels non volatils dépend beaucoup de la nature de l'acide qu'ils renferment. Les nitrates sont ceux dont l'action est la plus faible ; puis, viennent les sulfates, les carbonates et les sels à réaction alcaline. Les chlorures attaquent fortement le cuivre, surtout si leur dissolution est concentrée et chaude. Pour cette raison, l'eau de mer l'attaque très fortement.

Les solutions ammoniacales dissolvent très rapidement le cuivre et ses alliages ; les robinets en laiton ne peuvent pas être employés dans ce cas. Les acides chlorhydrique et sulfurique étendus attaquent à peine le cuivre ; l'acide azotique l'attaque d'autant plus rapidement qu'il renferme plus d'acide azoteux. Les acides organiques (acide acétique)

et les acides gras n'attaquent sensiblement le cuivre qu'au contact de l'air. Si l'on veut protéger un récipient en cuivre de l'attaque du liquide qu'il renferme, on peut y placer un fragment de fer, dans le cas où cette impureté est sans inconvénient. Le fer précipite le cuivre au fur et à mesure de sa dissolution et s'oppose ainsi à l'attaque du récipient.

Le plomb doux est surtout employé pour le revêtement des autres métaux facilement attaquables. Les plaques et les tuyaux de plomb sont très employés dans l'industrie chimique, car ils peuvent être travaillés avec la plus grande facilité. En outre, le vieux métal conserve la majeure partie de sa valeur et peut être régénéré avec la plus grande facilité.

Le plomb résiste parfaitement à l'action de l'air et de l'humidité. L'eau pure renfermant de l'air et de l'acide carbonique en dissolution l'attaque fortement. La présence de nitrates, nitrites, chlorures, tartrates, citrates, des dérivés de l'ammoniaque et des produits provenant de la décomposition de matières organiques facilite considérablement son attaque. Les sulfates et carbonates alcalins, ainsi que l'acide carbonique libre, agissent en sens inverse. Le contact d'autres métaux, tels que le platine, le fer, l'étain, facilite sa dissolution dans l'eau. La soude caustique attaque vivement le plomb, tandis qu'elle n'attaque pas du tout ses alliages. L'acide azotique le dissout facilement, surtout s'il est étendu et riche en produits nitreux. L'acide chlorhydrique et l'acide sulfurique n'ont qu'un très faible pouvoir dissolvant pour ce métal; leur action est augmentée par la présence simultanée d'autres acides, surtout par ceux qui sont riches en oxygène. Les acides organiques attaquent fortement le plomb, mais leur action est diminuée par la présence d'acide sulfurique. Le plomb allié au cuivre ou à l'antimoine est beaucoup plus facilement attaqué par l'acide sulfurique, surtout à chaud, que le plomb pur. Bien que ce dernier finisse par être attaqué, le plomb est le seul métal couramment employé dans les nombreuses industries mettant en œuvre l'acide sulfurique.

Le plomb enfoui dans le ciment devient friable et cassant; les tuyaux placés dans ces conditions doivent être préalablement recouverts d'une épaisse couche d'un enduit protecteur ou isolés du contact direct par un revêtement en amiante, en carton goudronné ou toute autre matière convenable.

Le plomb dur ou régule est un alliage de plomb et d'antimoine. Il résiste bien aux agents chimiques et possède une résistance mécanique assez grande pour qu'on puisse l'employer tel quel à la confection de pièces coulées. Son prix est environ le double de celui de la fonte, et c'est, après cette dernière, une des matières les plus employées dans la construction des appareils pour l'industrie chimique.

L'étain résiste bien à l'action des acides étendus, mais il est plus souvent employé sous forme de ses alliages qu'à l'état pur. Les serpentins devant servir à la condensation de la vapeur pour obtenir de l'eau distillée, les tuyauteries existant dans les fabriques d'acide picrique se font en étain.

Le zinc est d'autant plus facilement attaqué par les acides et les alcalis qu'il est plus impur. Le zinc pur est lui-même d'autant plus facilement dissous qu'il a été plus lentement refroidi du rouge à la température ordinaire.

Le laiton, alliage de cuivre et de zinc en proportions variables, est facilement attaqué et peu résistant. Mais il présente l'avantage de pouvoir être coulé très facilement.

Les bronzes sont des alliages de cuivre, d'étain et de zinc. Ils sont en général plus durs que le cuivre et résistent beaucoup mieux à l'action des acides. Le plus remarquable sous ce rapport est le bronze phosphoreux renfermant 0,5 à 3 0/0 de phosphore.

Le métal Delta est un alliage de cuivre et de zinc presque aussi tenace que le fer et pouvant être travaillé presque aussi facilement. Sa cassure est à grains fins ; son aspect, très satisfaisant. On l'emploie parfois pour la fabrication de petites pièces coulées, telles que les robinets pour acides, etc.

L'aluminium est très facilement attaqué par les acides, les alcalis et les solutions salines.

Le caoutchouc, l'ébonite et la gutta-percha sont assez coûteux et leur durée est toujours très limitée. Aussi ne les emploie-t-on que dans des cas exceptionnels.

Les émaux sont utilisés pour protéger la fonte, le fer et le cuivre de l'attaque par les acides. Les objets ainsi revêtus doivent être constitués par un seul et même métal. La couche d'émail doit être parfaitement continue et ne pas présenter de fissures par lesquelles l'acide pénétrerait et attaquerait le métal sous-jacent, tout aussi bien.

que si le métal n'avait pas été émaillé. Les émaux plombifères sont beaucoup plus facilement attaqués par les acides que les autres; les alcalis caustiques attaquent très rapidement l'émail, quelle que soit sa composition. La couche d'émail se détache facilement de son support par le choc; pour cette raison, les appareils en métal émaillé doivent être traités avec des précautions toutes particulières. Quels que soient les soins apportés à leur fabrication et à leur usage, les appareils émaillés sont toujours sujets à se détériorer rapidement; et, comme ils sont assez coûteux, on doit toujours examiner s'il n'existe pas de matière pouvant remplir le même but d'une façon plus pratique.

Le grès et les produits céramiques analogues résistent parfaitement à l'action de la plupart des acides et mélanges d'acides. Ils servent à confectionner les objets les plus divers, tels que : cuves, pompes, serpentins, touries, réservoirs pour la conservation et le transport des acides, etc. Le grès est moins employé pour les parties mobiles d'appareils, en raison de sa fragilité; cependant les robinets en grès sont d'un très bon usage. Les appareils en grès doivent être chauffés avec beaucoup de précautions, surtout lorsque l'épaisseur de leurs parois est très variable. Il en est de même en ce qui concerne le verre, la terre cuite, la porcelaine.

Les tuyaux en grès ou en terre vernie sont peu coûteux et très appréciés. Dans certains cas, on peut se contenter de canalisations en ciment, en béton ou en asphalte. Ce dernier résiste particulièrement bien aux liqueurs acides laissées comme résidu par un grand nombre de traitements chimiques. Le ciment résiste également bien à ces mêmes eaux résiduelles lorsqu'il ne renferme pas trop de sable. L'acide carbonique gazeux n'agit pas sur lui, mais les eaux chargées de ce gaz le désagrègent. Le chlorure de magnésium et les sulfates alcalins attaquent très rapidement le ciment; enfin l'alcool dénaturé le pénètre profondément.

Ces généralités étant exposées, nous passerons à la description des appareils et des machines servant au transport des liquides. Ces appareils sont extrêmement variés et permettent de résoudre tous les cas qui peuvent se présenter. Les uns utilisent directement la force vive d'un jet de vapeur d'air ou d'eau sous pression; tels sont :

- Les injecteurs et les élévateurs à jet de vapeur ;
- Les éjecteurs à jet d'eau ;

- Les pulsomètres à deux chambres ;
- Les aquapultes à une seule chambre ;
- Les monte jus ;

Les autres appareils exigent que la force vive du fluide moteur soit préalablement transformée en force motrice. Tels sont les nombreux systèmes de pompes.

Les pompes à vapeur résultant de l'accouplement d'une pompe ordinaire avec un moteur à vapeur se classent dans cette deuxième catégorie, car la vapeur est préalablement transformée en force motrice.

Les injecteurs sont composés en principe d'une tuyère par laquelle la vapeur s'échappe avec une grande vitesse. Il se produit ainsi un

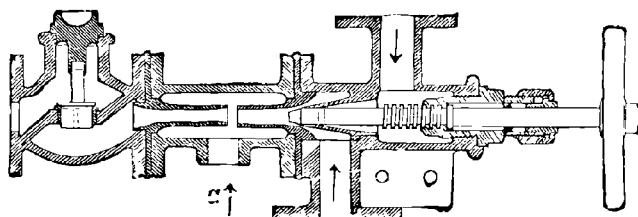


FIG. 101.

vide dans la canalisation, et l'eau est aspirée, puis saisie par le jet de vapeur et refoulée dans la canalisation de distribution.

Les injecteurs sont à une ou deux tuyères ; les uns sont aspirants, les autres non aspirants, et d'autres enfin dits *Re starting* se réamorcent automatiquement en cas de désamorçage. Les injecteurs peuvent fonctionner avec de la vapeur fraîche ou de la vapeur d'échappement, suivant leur mode de construction.

La figure 101 représente la coupe d'un injecteur de la construction la plus simple, horizontal et aspirant à une seule tuyère. Lorsque l'on veut mettre l'appareil en fonctionnement, on évacue d'abord l'eau de condensation rassemblée dans l'appareil, en ouvrant la valve d'admission, jusqu'à ce que la vapeur se dégage par le conduit de décharge *a*. On referme lentement la valve, jusqu'à ce que l'injecteur aspire de l'eau qui est à nouveau rejetée par le trop-plein. Puis on l'ouvre à nouveau avec précaution jusqu'à ce que l'eau ne s'écoule plus et que

l'injecteur se mette à fonctionner, ce que l'on reconnaît à la production d'un bruit continu particulier.

Les injecteurs aspirants peuvent élever l'eau de 30° C. à une hauteur de 2 mètres environ ; cette hauteur d'aspiration peut être augmentée en modifiant la forme de l'appareil.

Les injecteurs non aspirants reçoivent l'eau d'un réservoir surélevé ou d'une canalisation d'eau sous pression. L'eau d'alimentation doit être à 30° au plus ; elle est alors envoyée à la chaudière avec une température de 70°. Koerting, Strube et d'autres fabricants assurent arriver à aspirer de l'eau préalablement chauffée à 65° et à élever cette température de 50° environ par passage dans l'injecteur, si bien que l'eau d'alimentation serait introduite dans la chaudière avec une température de 115° environ.

Les injecteurs aspirants ou non aspirants qui viennent d'être décrits possèdent l'inconvénient de se désamorcer lorsqu'il pénètre momentanément de l'air dans la conduite d'alimentation.

Cet inconvénient a été complètement annihilé par l'injecteur universel de Koerting (*fig. 102*). Celui-ci se compose de deux injecteurs juxtaposés dans un même corps et conjugués, de telle sorte que la chambre de refoulement du premier communique avec la chambre de condensation du second.

Le premier injecteur sert à aspirer l'eau et à l'amener sous une certaine pression dans le second qui, à son tour, l'envoie à la chaudière après lui avoir donné au préalable le complément de pression

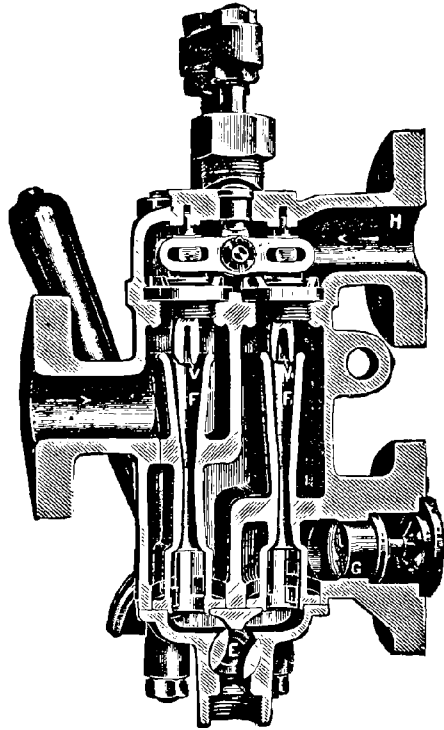


FIG. 102.

nécessaire. La mise en marche de l'appareil se fait par la manœuvre d'un seul levier; lorsqu'on tire légèrement celui-ci, la valve *V* qui ferme la première tuyère se soulève un peu, l'eau est aspirée et refoulée d'abord au dehors à travers le conduit *M*. En continuant de renverser le levier, on ferme le robinet *E* et, par suite, le conduit *M*; l'eau entre alors sous pression dans le système de tuyères *F'* et s'écoule par le conduit *M'*, jusqu'à ce que la valve *V'* soit complètement ouverte et que le robinet *E* ait fermé le conduit *M'*. A partir de ce moment, l'eau est refoulée dans la chaudière à travers la soupape d'alimentation *b*.

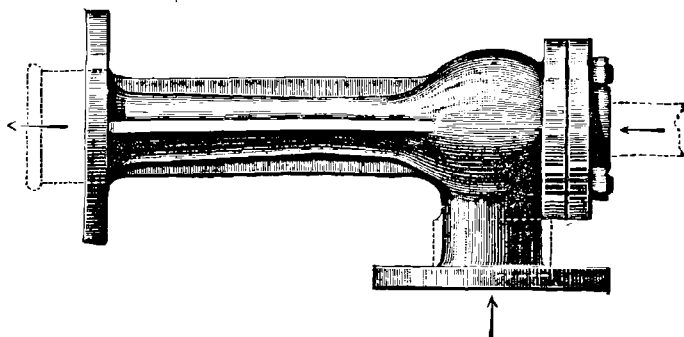


FIG. 103.

Lorsque l'injecteur est alimenté de vapeur d'échappement, la contre-pression existant dans la chaudière ne doit pas dépasser 5 atmosphères, et la température de l'eau d'alimentation 18°; si l'on veut travailler dans des conditions moins favorables, la vapeur d'échappement doit être additionnée de vapeur fraîche.

Lors de l'installation des injecteurs, on doit observer les précautions suivantes : les tuyaux d'eau et de vapeur ne doivent pas être trop étroits ; leur diamètre doit être au moins égal à celui des ouvertures correspondantes ménagées sur l'appareil. Ces canalisations doivent avoir des coudes bien ouverts. La prise de vapeur pour l'injecteur doit être établie directement sur la chaudière, en un point élevé, et jamais sur une conduite amenant la vapeur à d'autres appareils, pour que la vapeur arrive aussi sèche que possible et avec la pression entière de la chaudière.

Les injecteurs sont employés exclusivement pour l'alimentation des

chaudières à vapeur. Ils présentent sur tous les autres systèmes l'avantage de la simplicité; en outre, la vapeur nécessaire à leur fonctionnement est tout entière utilisée à élever la température de l'eau d'alimentation.

Les élévateurs (*fig. 103*) sont basés sur le même principe que les injecteurs, mais ils sont encore plus simple en ce sens qu'ils ne possèdent aucune partie mobile. En conséquence, ils sont d'un manie- ment extrêmement commode et peuvent être construits en bronze, bronze phosphoreux, plomb antimonié, fonte revêtue de plomb ou d'ébonite, porcelaine, etc. Ils peuvent donc servir à transporter les liquides acides, alcalins, etc., de toute nature. Ces appareils se cons- truisent suivant trois

types, selon que la hauteur d'aspiration ne dépasse pas 2 mètres, ou qu'elle est considérable (jusqu'à 6 mètres), la hauteur de refoulement étant faible. Enfin les appa- reils du dernier type

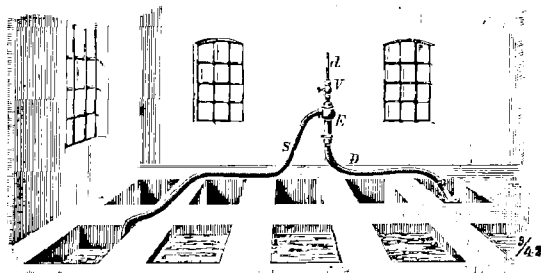


FIG. 104.

sont destinés à de grandes hauteurs d'aspiration et de refoulement, la pression de vapeur étant variable. Ces derniers appareils sont munis d'une aiguille de réglage et peuvent, avec une pression de vapeur de 2 à 6 kilogrammes et avec une hauteur d'aspiration pouvant atteindre 6^m,30, refouler à des hauteurs de 10 à 24 mètres, suivant la pression de la vapeur.

Ces appareils permettent d'obtenir une hauteur de refoulement égale à trois fois la hauteur correspondant à la pression de la vapeur; la hauteur d'aspiration peut monter jusqu'à 8 mètres, et la température de l'eau peut atteindre, dans certaines conditions, jusqu'à 90°. Le réchauf- fement du liquide augmente avec la hauteur de refoulement; le mini- mum d'élévation de température est de 2°. De plus, le liquide à élever est inévitablement dilué par l'eau provenant de la condensation de la vapeur. Cette dilution peut devenir notable, et l'on doit en tenir compte lorsqu'il s'agit d'avoir recours à ce procédé de transport des liquides.

Les élévateurs à jet de vapeur sont également propres au transport des liquides troubles ou boueux, car ils ne possèdent aucune partie mobile. L'usure est limitée aux tuyères, et celles-ci peuvent être remplacées à peu de frais.

En raison de leur simplicité et de leur bon marché, les élévateurs Koertling sont très employés dans l'industrie chimique pour effectuer le transvasement, la circulation et le réchauffement des liquides

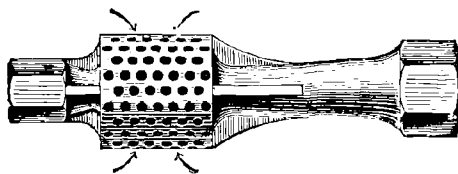


Fig. 105.

les plus divers : jus de tan, lessives, acides, eaux ammoniacales, lait de chaux, etc. On les construit en un grand nombre de modèles débitant de 1.000 à 30.000 litres à l'heure.

Les élévateurs à jet d'eau (*fig. 105*) fonctionnent d'après le même principe que les appareils à jet de vapeur. Le jet d'eau aspire le liquide à élever et le refoule, mélangé avec l'eau motrice, à la hauteur voulue. Ils nécessitent la proximité d'une conduite d'eau sous pression, et leur emploi est limité aux liquides pouvant être dilués sans inconvénients. La hauteur moyenne de refoulement est de 4 mètres environ pour une pression d'eau motrice de 3^{kg},50 à 4 kilogrammes et, dans ces conditions, le volume de liquide aspiré est à peu près égal au volume d'eau motrice consommé. Leur usure est minime, et ils n'exigent presque jamais de réparation, de même que les appareils à jet de vapeur.

Le pulsomètre à deux chambres est un appareil dans lequel l'aspiration du liquide à transporter s'effectue par la condensation de la vapeur et son refoulement par la pression de cette vapeur. La première réalisation pratique de cette idée est due à Henri Hall, qui employait deux sphères placées aux extrémités d'un fléau comme organe de distribution automatique de la vapeur. Le mécanisme de distribution est différent suivant les constructeurs; il consiste en une plaque, un tiroir, un piston, etc. Le principe de l'appareil reste toujours le même, mais son rendement et sa consommation de vapeur peuvent être très différents.

Les figures 106 et 107 représentent le pulsomètre construit par la maison Schaeffer et Budenberg. Pour le faire fonctionner, on ouvre et on ferme la soupape de prise de vapeur, jusqu'au moment où l'appareil

est rempli d'eau; puis on ouvre la soupape lentement et de $1/2$ tour environ, la vapeur pénètre alors dans une des chambres A, A₀ (sur le dessin, dans A₀) par le clapet F, pendant que l'autre reste fermée et chasse l'eau par le clapet de refoulement D et le tube ascendant G. Dès que le liquide descend au-dessous de l'orifice B₀, la surface de

l'eau se trouve subitement agrandie, la condensation de la vapeur augmente, sa vitesse s'accélère et produit par entraînement la fermeture du clapet F, interceptant ainsi l'entrée de vapeur; celle-ci pénètre alors dans l'autre chambre et expulse l'eau qu'elle contient comme il a été décrit. Pendant ce temps, la vapeur renfermée dans la première chambre se condense, y produit de nouveau l'aspiration, et ce jeu se répète tantôt dans l'une, tantôt dans l'autre chambre.

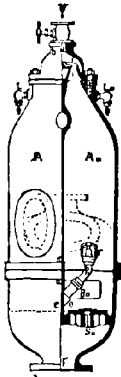


FIG. 106.

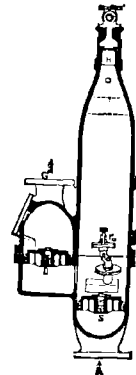


FIG. 107.

Pour obtenir un fonctionnement sûr et régulier de l'appareil, il faut que les périodes d'aspiration et de refoulement soient de durée égale. On a imaginé dans ce but les appareils automatiques d'injection R et R₀, qui font communiquer chaque chambre de refoulement à chaque chambre de condensation; plus la pression de refoulement est forte, plus l'injection est abondante, la condensation prompte et l'aspiration rapide. Les reniflards L et L₀ servent à l'introduction automatique de l'air nécessaire pour amortir les chocs provoqués par la condensation brusque de la vapeur.

Le pulsomètre peut servir à élever de grandes quantités de liquide froid ou chaud (jusqu'à 80°) d'une façon intermittente. On peut l'utiliser pour toutes sortes de liquides : fluides, épais, acides, alcalins, etc. Les appareils de ce genre consomment beaucoup de vapeur.

Les aquapultes sont des pulsomètres à une seule chambre (fig. 108). La vapeur arrive d'une façon intermittente par une valve équilibrée. Elle remplit la chambre, puis se condense en aspirant l'eau. La vapeur, continuant à arriver, comprime le liquide dans la canalisation, puis se condense à nouveau, aspirant une nouvelle quantité d'eau. Ces appareils sont inférieurs aux pulsomètres, et leur construction est à peu près abandonnée.

Les monte-jus (*fig. 109*) constituent un dispositif très commode et très employé pour l'élévation des liquides : acide sulfurique, acide azotique, etc. Ils sont constitués par un récipient cylindrique ou sphérique dans lequel arrive le liquide à élever. Le tuyau destiné à diriger le liquide arrive jusqu'au fond du récipient. Lorsque celui-ci est à peu près plein, on ouvre un robinet qui fait arriver de la vapeur ou de l'air comprimé ; ce

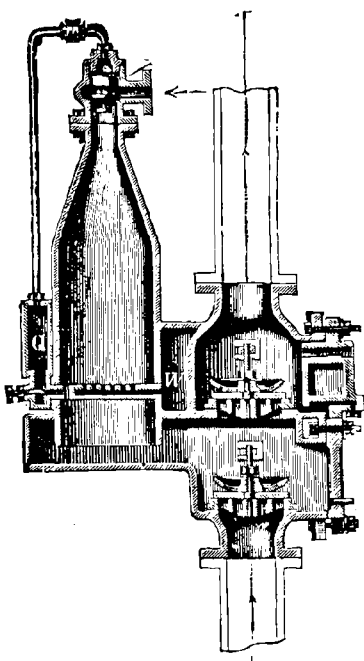


FIG. 108.

fluide, exerçant une pression sur la surface du liquide, l'oblige à s'échapper par la canalisation. Lorsque le liquide est évacué, on ferme l'arrivée d'air, chasse l'air en excès et introduit une nouvelle quantité de liquide ; puis on recommence la même manœuvre du robinet d'air comprimé. Le récipient est muni d'un manomètre permettant de vérifier la pression qui y règne et d'un tube de niveau servant à contrôler à tout instant le niveau du liquide.

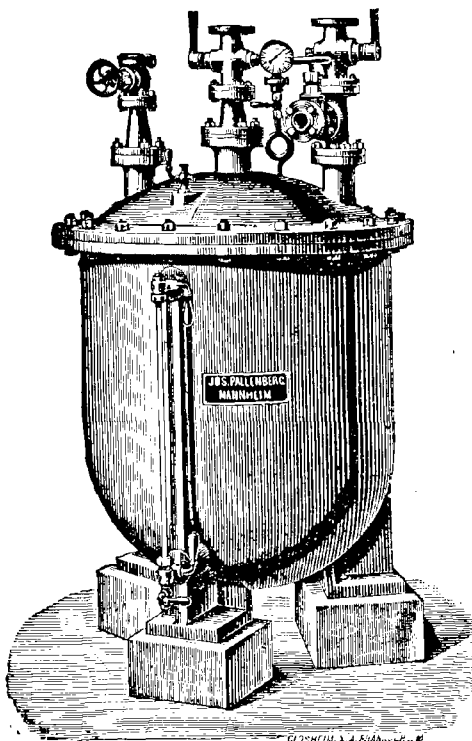


FIG. 109.

Si le liquide était froid et que l'on emploie la vapeur, celle-ci serait en grande partie condensée; dans ce cas, il est beaucoup plus avantageux d'avoir recours à l'air comprimé. L'air sous pression fourni par une pompe est emmagasiné dans un réservoir d'assez grandes dimensions; une canalisation sert à le distribuer à tous les appareils à actionner. Les monte-jus peuvent être confectionnés en matières capables

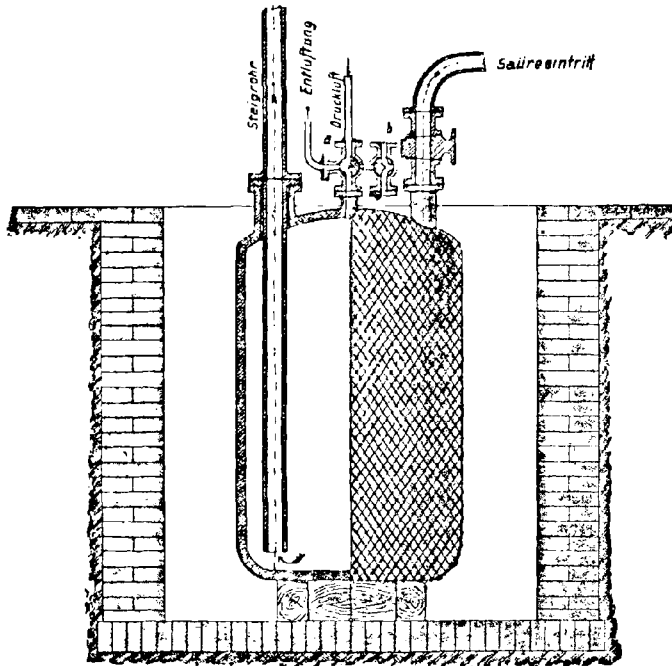


FIG. 110.

de résister à l'action de tous les liquides acides ou alcalins. On a ainsi le moyen d'utiliser l'air sous pression comme seul et unique moyen de propulsion des liquides dans toute une usine. Cette solution est la plus commode, mais on doit reconnaître que la première installation est assez coûteuse.

Les métaux les plus employés pour la construction des monte-jus sont la fonte et le cuivre. On peut aussi les revêtir intérieurement de plomb. La figure 110 représente un appareil en grès; le récipient est entouré d'une toile métallique qui retient les débris en cas d'explosion;

de plus, il est placé dans une fosse au-dessous du niveau du sol de manière à parer autant que possible aux projections d'acide. L'arrivée d'air comprimé et son dégagement sont commandés par un même robinet à trois voies. Au moment où le monte-jus est complètement vidé, l'air sous pression tend à monter dans le tube ascendant et occasionne des chocs qui sont dangereux. Dès que les premiers bruits se

font entendre, il suffit de tourner le robinet à trois voies pour que l'air sous pression se dégage librement et sans pénétrer dans le tube ascendant.

Les appareils de ce genre fonctionnent d'une façon intermittente et exigent une surveillance continue, puisqu'il est indispensable de donner alternativement accès au liquide, puis à l'air comprimé. Dans certains cas, on commence même par faire le vide dans l'appareil, afin de permettre au liquide d'y arriver d'un niveau inférieur. On a cherché depuis longtemps à rendre le fonctionnement de ces appareils absolument automatique. La figure 111 représente la disposition due à Guttman. Le corps du monte-

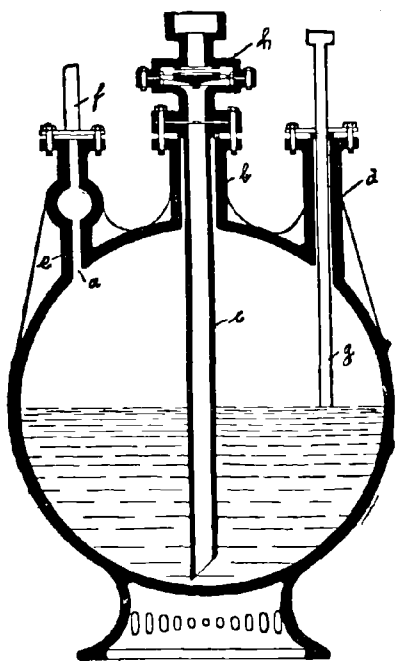


FIG. 111.

jus est en grès et porte à sa partie supérieure trois raccords *b*, *c*, *d*, auxquels sont reliées les tubulures suivantes : *e*, tube alimentaire pour l'arrivée du liquide à élever, descendant jusqu'au fond du récipient; *f*, pour l'arrivée du fluide compresseur (gaz ou air sous pression); *g*, tube ascendant n'arrivant qu'à mi-hauteur du vase *a*. Ce dernier tube est en verre sur une partie de sa longueur, afin de permettre de contrôler la régularité de la marche de l'appareil.

Pendant la marche du monte-jus, l'air comprimé entre par intermittences dans le tube ascendant *g*, de sorte que ce tube est traversé alternativement par des bulles de liquide et des bulles d'air. On peut

observer la régularité de ce phénomène à travers le tube en verre, immédiatement au-dessus du monte-jus. L'organe régulateur est une soupape *h* interposée sur le tube alimentaire *e*. Lorsque la pression existant dans le monte-jus devient anormale, cette soupape arrête toute nouvelle arrivée du liquide, jusqu'au moment où cette pression est suffisamment abaissée. L'appareil fonctionne d'une façon continue et sans surveillance.

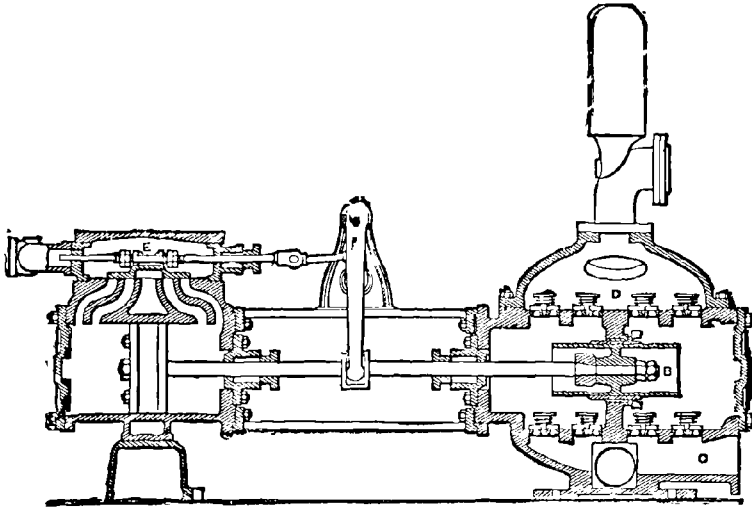


FIG. 112.

Les pompes constituent le deuxième groupe des appareils propres à la propulsion des liquides. Elles peuvent se classer suivant leur mode de commande par la vapeur, l'électricité, l'air comprimé, etc.

Les pompes à vapeur peuvent être installées en n'importe quel endroit et être mises en marche à tout instant. En outre, leur allure peut être ralentie ou accélérée à volonté, ce qui fournit le moyen de proportionner leur débit aux besoins momentanés. En cas de nécessité, le moteur à vapeur peut servir pour la production de force motrice.

L'accouplement direct d'une pompe avec un cylindre à vapeur présente le grand avantage d'éviter tout organe de transformation de mouvement. Le mouvement rectiligne et alternatif du piston à vapeur est transmis directement au piston de la pompe à eau.

La figure 112 représente, en coupe longitudinale, la vue d'un côté ou d'une moitié d'une pompe à vapeur Worthington de modèle ordinaire à pleine pression. Les dispositions adoptées pour assurer le fonctionnement et la distribution de vapeur constituent la particularité la plus saillante de ce type. Deux pompes à vapeur sont placées côte à côte et agencées de telle manière que chacune actionne le tiroir à vapeur de l'autre. Chaque piston en marche, avant de finir sa course, ouvre l'arrivée de la vapeur à l'autre pompe, puis s'arrête et attend, pour recommencer sa course inverse, que son tiroir à vapeur ait été ouvert par l'autre machine. Cet arrêt a pour résultat de permettre aux clapets des pompes de retomber doucement sur leurs sièges et d'assurer ainsi une marche douce et sans choc.

En examinant cette disposition spéciale, on voit que l'un des tiroirs est nécessairement toujours ouvert, ce qui supprime le point mort. Il y a donc toujours un côté prêt à fonctionner dès l'admission de la vapeur. La mise en marche et l'arrêt de la machine ont lieu par la seule manœuvre du robinet de vapeur.

Le tiroir E se meut sur une surface pleine où viennent déboucher les orifices d'admission et d'échappement de la vapeur. Ce tiroir est mû par le levier F qui parcourt toute la course. Le piston plongeur B est à double effet et se meut dans un anneau alésé. Lorsqu'il devient nécessaire de modifier la proportion existant entre les cylindres à vapeur et les pistons plongeurs, il est facile d'employer un plongeur plus grand ou plus petit. L'eau arrive dans la chambre inférieure O, traverse les clapets d'aspiration, passe autour et à l'extrémité du plongeur et se rend dans la chambre de refoulement D. Les parties supérieures et inférieures de la pompe présentent de larges surfaces pour recevoir les clapets constitués par de petits disques de caoutchouc.

Les pompes commandées par transmission présentent l'avantage d'être d'une installation moins coûteuse ; la commande peut s'effectuer par courroie, par câble ou par renvoi. Si elles sont de faibles dimensions, on peut aussi les manœuvrer à la main, à l'aide d'un volant ou d'une manivelle. Pour pouvoir régler leur débit pendant la marche, on les munit d'un piston différentiel ou d'un robinet de réglage.

En ce qui concerne la construction des pompes, on doit faire les remarques suivantes :

Les pompes horizontales sont très stables, et d'un accès facile dans toutes leurs parties. C'est la disposition que l'on doit adopter dans les conditions normales.

Les pompes verticales occupent peu de place, mais sont peu stables ; enfin, les pompes murales occupent également peu de place et sont d'un montage facile ; mais elles exigent la présence d'un mur solide et placé à proximité.

Les pompes se classent en pompes à piston, pompes rotatives et pompes centrifuges. Les premières sont à simple ou à double effet : dans le premier cas, une seule des deux faces du piston agit pour produire successivement l'aspiration et la compression ; dans les pompes à double effet, l'une des faces du piston produit l'aspiration en même temps que l'autre produit la compression, et *vice versa*. Les pompes peuvent encore être groupées en pompes aspirantes, foulantes, et pompes à la fois aspirantes et foulantes. Les pompes aspirantes ont une grande hauteur d'aspiration ; les pompes foulantes, une hauteur d'aspiration restreinte ; ces deux sortes de pompes possèdent des soupapes ménagées l'une dans l'épaisseur du piston, l'autre à la base du corps de pompe. Les pompes aspirantes et foulantes sont une combinaison des deux systèmes précédents. Les pompes à pression élevée ont toujours un piston massif dit piston plongeur, et les soupapes d'aspiration et de refoulement sont disposées dans un logement spécial.

Si la vitesse du piston est tellement grande que la colonne de liquide se sépare du piston pendant le mouvement ascensionnel de celui-ci, il en résulte des chocs dits coups d'eau, qui nuisent à la conservation de la pompe. Pour les éviter, il faut intercaler un réservoir d'air sur la canalisation d'aspiration. De même, si l'on veut éviter les chocs provenant de la compression de l'eau aspirée, il est nécessaire d'installer des réservoirs d'air semblables sur la conduite de refoulement. L'air contenu dans ces chambres régularise la pression en faisant office de ressort compressible. Pour que cette précaution soit efficace, les réservoirs d'air doivent posséder une capacité suffisante.

Pour l'extraction des liquides épais, troubles ou boueux, les pompes sont munies de soupapes à boulets ; les soupapes sont constituées par une sphère en caoutchouc, ébonite, etc., qui repose sur un siège annulaire. Elles sont d'un fonctionnement sûr et d'une étanchéité satisfaisante. Elles méritent la préférence à toutes les autres en raison de

leur simplicité et de leur facilité de nettoyage, lorsqu'il s'agit de pomper des liquides épais ou tenant des matières solides en suspension : moût, lait de chaux, eaux goudronneuses, etc.

Dans les pompes à piston plein, le joint existant entre les parois du cylindre et le piston est rendu étanche par une garniture en chanvre,

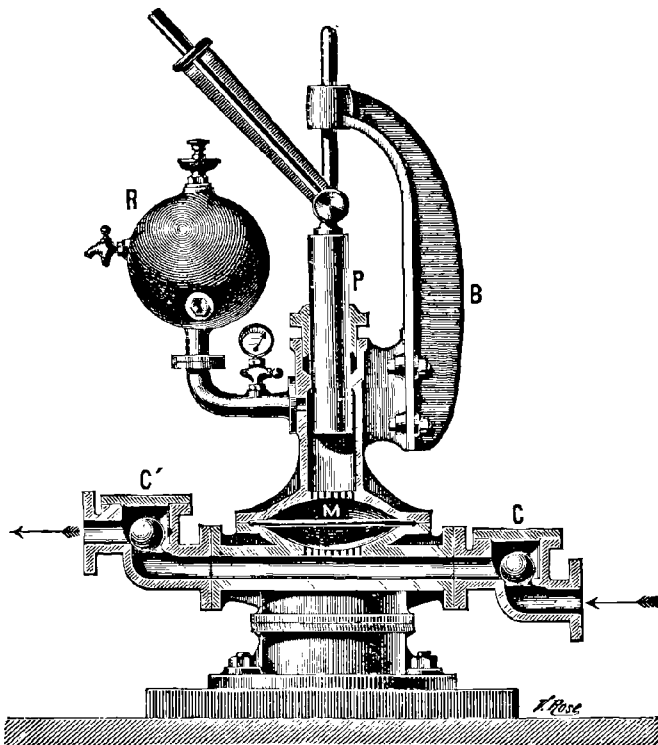


FIG. 113.

en cuir, ou en métal antifriction. Les garnitures en chanvre ou en cuir peuvent être employées pour des eaux renfermant une petite quantité de matières solides, sable, boue, etc., en suspension : mais il n'en est pas de même des dernières. Dans les pompes destinées à l'élévation de grandes quantités d'eau et à l'alimentation des chaudières, le piston est souvent constitué par une tige métallique pleine d'un diamètre légèrement inférieur à celui du corps de pompe. Ce genre de piston est dit piston plongeur. Le joint est assuré par un presse-étoupe placé à l'une des extrémités du piston.

Si le liquide à transporter est d'une nature chimique telle qu'il attaque la fonte, la pompe peut être construite en plomb antimonié, en bronze phosphoreux, en grès, etc. On peut éviter tout contact du piston avec le liquide à transporter en ayant recours aux pompes à membrane. La figure 113 représente un modèle construit par la maison Leclair. Dans ces pompes, le piston plongeur P se meut dans une chambre pleine d'eau propre. Cette chambre est terminée à sa partie inférieure par une membrane M flexible en cuir ou en caoutchouc; la face extérieure de cette membrane est seule en contact avec le liquide à transporter. Lorsque le piston plongeur est mis en mouvement, la membrane se dilate et se contracte et transmet les variations de pression au liquide, qui est ainsi aspiré, puis refoulé. Le corps de pompe est généralement construit en fonte doublée de plomb, et les soupapes C sont à boulets en caoutchouc. La chambre pleine d'eau est en relation avec une soupape de sûreté qui prévient la production de toute pression exagérée. Avant de mettre la pompe en marche pour la première fois, on remplit la chambre d'eau, après avoir amené le piston à fond de course. Sans cette dernière précaution, le volume d'eau étant trop considérable pour que le piston puisse venir se loger dans le corps de pompe, la membrane éclaterait.

Les pompes à membrane sont surtout employées pour l'alimentation des filtres-presses. Dans ce cas, on se trouve en présence d'un liquide souvent corrosif contenant en suspension une forte proportion de matières solides; les pompes à membrane sont donc tout indiquées pour cette application. Lorsque le filtre est presque plein, la filtration ne s'effectue qu'avec lenteur, et, la quantité de liquide envoyée par la pompe étant beaucoup trop considérable, la pression régnant dans le filtre deviendrait de plus en plus élevée. Pour remédier à cet inconvénient, on place sur la conduite de refoulement une soupape de décharge commandée par un poids mobile le long d'un levier. Lorsque la pression devient trop élevée, le liquide soulève la soupape et retourne directement au réservoir de liquide trouble, sans passer par le filtre-presse.

Le même résultat peut être obtenu d'une façon plus avantageuse à l'aide du régulateur de pression représenté en coupe par la figure 114, appareil également construit par la maison Leclair. Ce régulateur se compose d'un réservoir sphérique en bronze (représenté en R sur le

dessin d'ensemble) en communication directe avec le corps de pompe. Lorsque la pression existant dans celui-ci devient supérieure au maximum prévu, l'eau repousse la soupape C et pénètre dans le réservoir. Au contraire, lorsque la pression régnant dans le réservoir devient supérieure à celle qui règne dans le corps de pompe, l'eau

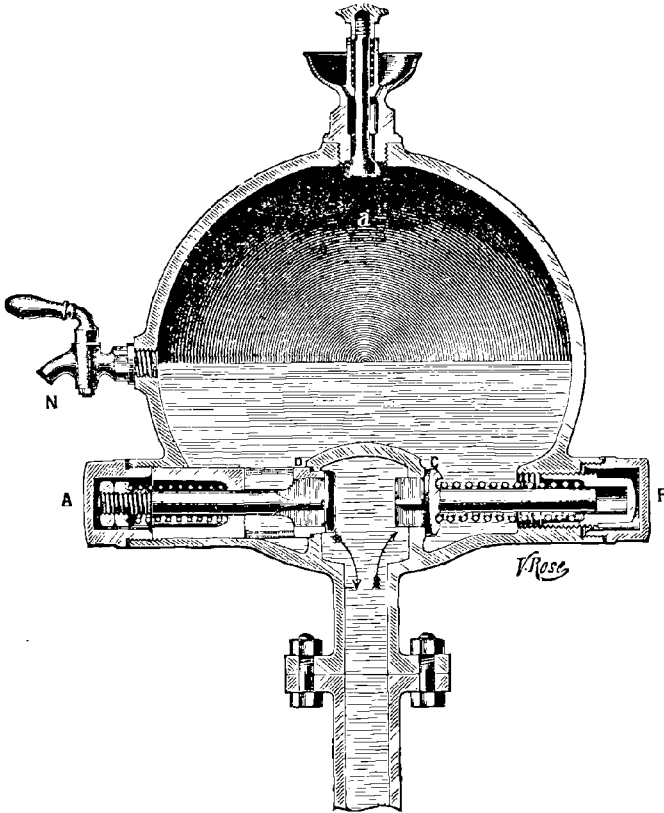


FIG. 114.

soulève la soupape D et rentre dans celui-ci. Les soupapes C et D sont équilibrées par des ressorts R et A dont on peut régler la tension à volonté. On peut ainsi assurer automatiquement une pression constante déterminée à l'avance et supprimer sans aucun danger la soupape de décharge placée sur la conduite de refoulement.

Dans les pompes rotatives, l'aspiration et le refoulement du liquide sont effectués par un piston tournant sur lui-même d'un mouvement

circulaire continu. Ces pompes sont à un, deux ou plusieurs axes. Les pompes du premier genre ne donnent souvent qu'un rendement inférieur à 50 0/0, en raison du frottement des palettes sur les parois de leur logement.

Il existe un très grand nombre de variétés de pompes rotatives à deux axes. Nous ne décrivons que la pompe de Hoppe représentée figure 115. Les deux pistons ont la forme d'une roue dentée et par leur rotation en sens inverse produisent l'aspiration de l'eau par la partie inférieure et le refoulement par la partie supérieure. Leur fonctionnement est très satisfaisant et n'exige que peu de réparations.

Les pompes centrifuges tournent à grande vitesse; l'aspiration et la compression sont uniquement dues à la force centrifuge ainsi développée. La vitesse de rotation doit être

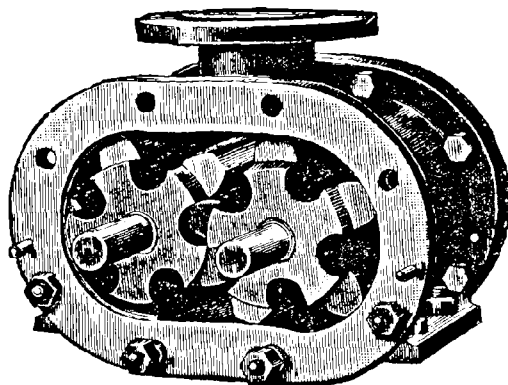


FIG. 115.

d'autant plus grande que l'eau doit être élevée à plus grande hauteur. Ces pompes ne possèdent ni soupapes ni clapets; elles doivent être préalablement amorcées en les remplissant d'eau. Le liquide mis en mouvement prend une vitesse très considérable; aussi, pour un débit donné, les tuyaux constituant la canalisation peuvent-ils être d'un diamètre beaucoup plus faible que s'il s'agissait d'une pompe ordinaire. L'écoulement est très régulier et la pression étant toujours uniforme, il est inutile de placer des réservoirs d'air sur les conduites sans que l'on ait à craindre que celles-ci soient ébranlées par les chocs ou les vibrations.

Les pompes centrifuges sont de deux types, suivant que l'eau à élever arrive d'un seul côté de la roue à ailettes ou des deux côtés à la fois. Les premières offrent l'avantage de permettre de placer la canalisation d'aspiration dans n'importe quel sens, à l'aide d'un coude mobile. Mais cet avantage est contrebalancé par le fait que l'axe de la pompe est soumis à un effort latéral considérable du côté où se

produit l'aspiration. Il en résulte souvent toute une série d'accidents : usure de l'arbre, grippage de l'arbre dans les coussinets ou usure des palettes par contact avec le corps de la pompe. Si l'on se décide pour une pompe de ce type, on doit s'assurer que sa construction est telle que ces graves inconvénients soient exclus autant que possible. Les pompes possédant deux aspirations latérales ne sont pas exposées à ces inconvénients; les pressions subies par l'arbre étant égales et dirigées en sens contraire s'annulent.

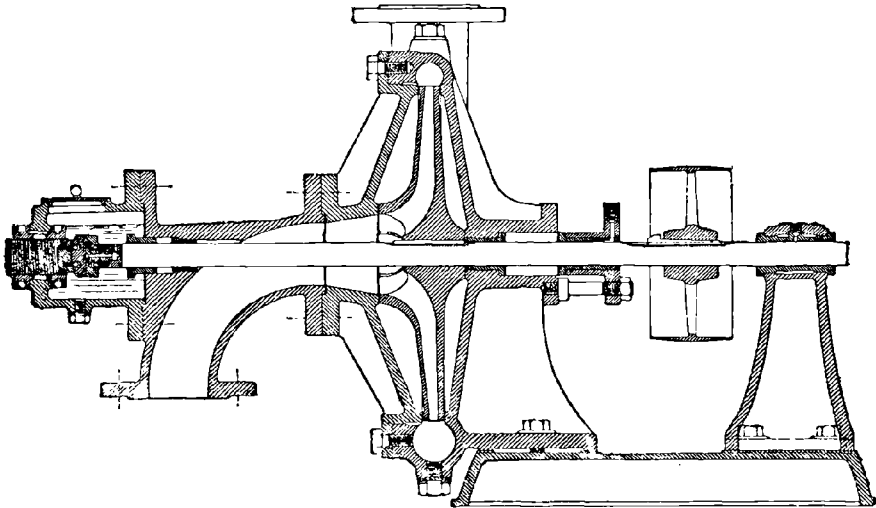


FIG. 116.

L'écoulement du liquide peut être réglé à volonté pendant la marche de la pompe, sans que l'on ait à craindre que la canalisation soit endommagée. On profite de cette circonstance pour proportionner en tout temps la quantité d'eau élevée aux besoins du moment, en interposant un registre ou un robinet sur la conduite.

La figure 116 reproduit la coupe d'une pompe centrifuge à aspiration unilatérale. L'extrémité de l'axe voisine de l'aspiration vient buter contre un grain en acier trempé. Le tout baigne constamment dans l'huile pour éviter tout échauffement. Le joint servant au passage de l'axe et isolant ce réservoir d'huile doit être fait avec grand soin, car l'huile a tendance à être aspirée.

Les figures 117 et 117 bis représentent un type de pompe centrifuge

à aspiration bilatérale ; la figure ne nécessite pas d'explications particulières.

Toute pompe centrifuge fonctionnant comme pompe aspirante doit être au préalable remplie d'eau. Ce remplissage doit avoir lieu pendant que la pompe est au repos, car la rotation des palettes s'opposerait à ce que l'on puisse l'effectuer. En outre, le tuyau d'aspiration doit être muni d'un clapet de pied à sa partie inférieure. On peut aussi opérer l'amorçage en faisant d'abord le vide dans la canalisation à l'aide d'un

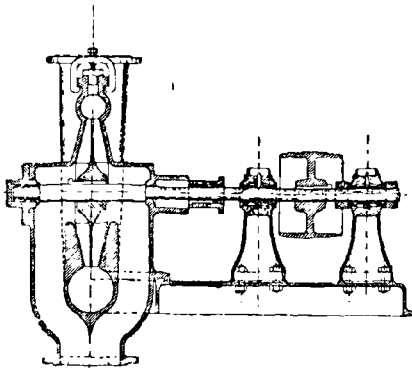


FIG. 117.

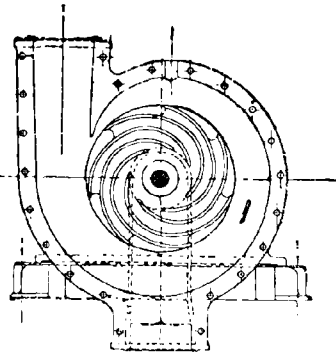


FIG. 117 bis.

injecteur. Lorsque la pompe doit refouler l'eau à une certaine hauteur, on intercale un clapet sur la conduite de refoulement, de façon à soulager la pompe du poids de la colonne d'eau élevée.

Bien que les pompes centrifuges exigent une force motrice un peu plus grande que les autres, elles sont très employées en raison de leur simplicité et de leur facilité d'installation.

Les liquides très chauds ne peuvent pas être aspirés, car les vapeurs émises par le liquide tendent constamment à détruire le vide créé par l'ascension du piston. Dans ce cas, la pompe doit être installée de telle façon que le liquide la remplisse par son propre poids et qu'elle ne fonctionne que comme pompe foulante. Il est d'ailleurs assez rare que l'on ait à transporter un liquide tellement chaud qu'on ne puisse l'aspirer à faible hauteur. Dans ce cas, les garnitures en cuir et en caoutchouc doivent être évitées autant que possible pour les soupapes et le piston. Ces matières sont mises assez rapidement hors d'usage par les liquides chauds.

On a parfois observé que des pompes installées à l'air libre étaient mises hors d'usage lorsque l'on y faisait passer brusquement un liquide très chaud. Cet accident est généralement dû à l'inégale dilatation des différentes parties métalliques.

De plus, les pompes doivent être vidées, en hiver, de tout le liquide qu'elles contiennent; en se congelant, celui-ci ne manquerait pas de faire éclater les tuyaux ou le corps de pompe.

Les tuyaux en grès sont peu appropriés au transport des liquides chauds, car il arrive fréquemment qu'ils se cassent, donnant lieu à des accidents fâcheux.

Les pompes à piston et les pompes rotatives dans lesquelles l'obturation est faite par les parties mobiles sont peu recommandables pour l'élévation des liquides troubles ou boueux; en effet, les parties mobiles s'usent rapidement, le fonctionnement de la pompe ne tarde pas à devenir défectueux. Les pompes centrifuges sont celles dans lesquelles l'usure est la moins sensible; encore faut-il avoir soin de protéger les paliers de toute introduction de liquide par des presse-étoupes ou des joints convenablement disposés. En outre, les ailettes doivent être recouvertes latéralement de manière à éviter que le liquide ne pénètre entre les ailettes et la paroi du corps de pompe, mais qu'au contraire il ne vienne en contact qu'avec leurs faces internes.

Si l'on emploie une pompe à piston, son cylindre et son piston doivent être revêtus le premier d'une fourrure amovible, le second de segments de rechange. On peut toujours avoir ces pièces en réserve, de manière à pouvoir remédier immédiatement à tout accident.

Les liquides épais et d'un poids spécifique élevé exigent toujours une plus grande dépense de force motrice pour leur transport que les liquides fluides. Le rendement d'une pompe servant à leur propulsion est toujours inférieur à ce qu'il serait si la pompe devait transporter de l'eau. On doit tenir compte de cette circonstance et choisir une pompe de dimensions plus grandes. Les canalisations doivent être d'un plus grand diamètre, et les soupapes évitées toutes les fois qu'il est possible. La supériorité des pompes centrifuges apparaît de nouveau ici, car leur mode d'action permet d'éviter toute interposition de soupape.

Dans les pompes possédant des soupapes, il arrive souvent que les matières solides s'interposent entre la soupape et son siège et donnent

ainsi lieu à des fuites qui diminuent beaucoup l'effet utile de la pompe.

Quand il s'agit d'élever les liquides épais et boueux, on doit éviter les longues canalisations et surtout les coudes brusques; on peut encore disposer deux canalisations l'une à côté de l'autre, de façon à diviser le travail et à diminuer les chances d'obstruction. Malgré cela on doit disposer de distance en distance des regards permettant d'éliminer les matières solides qui tendent toujours à s'accumuler en certains points de ces conduites. On peut également relier la canalisation avec une conduite d'eau ou de vapeur sous pression; on a ainsi la facilité de la nettoyer de temps à autre ou après chaque période d'utilisation.

Les liquides très corrosifs et, en particulier, la plupart des acides minéraux sont transportés à l'intérieur des usines mêmes dans des chariots-citernes, des tonneaux en fer ou des touries en verre. Les chariots-citernes sont composés d'un châssis de voiture ordinaire sur lequel est placé un cylindre horizontal en tôle. Ce cylindre est muni d'un trou d'homme, d'un orifice pour le remplissage et d'un robinet pour l'écoulement de l'acide. Pour faciliter cet écoulement, et aussi pour monter l'acide à un niveau plus élevé, on crée une pression d'air au-dessus du liquide. Dans ce but, l'appareil est mis en relation avec une canalisation d'air comprimé. On emploie des appareils du même genre contenant jusqu'à 10.000 kilogrammes pour le transport des acides par wagon. Les raccords servant à relier l'appareil avec la conduite d'air comprimé doivent être d'un modèle et de dimensions uniformes, de façon à éviter toute complication de ce côté.

Les tonneaux en fer peuvent être employés pour le transport de petites quantités d'acide sulfurique, de lessive, de benzine. Ce sont des récipients cylindriques renforcés par des cercles en fer et fermés par une bonde en fonte. Ces tonneaux étaient autrefois rivés; mais les tonneaux soudés à l'aide de la soudure autogène, c'est-à-dire sans interposition de métal étranger, sont préférables, car ils ne sont pas exposés à fuir.

Les touries en grès ou en verre, d'une contenance d'environ 60 litres, sont employées pour le transport des acides. Elles sont entourées de paille et placées dans une corbeille en osier ou en lames de fer mince qui les protège des chocs extérieurs. La paille étant sus-

ceptible de s'enflammer lorsqu'elle est mise fortuitement en contact avec l'acide azotique concentré, on l'imprègne d'une dissolution de sulfate de soude qui la préserve de l'inflammation.

L'acide azotique et l'acide chlorhydrique sont expédiés à grande distance par chemin de fer dans des touries semblables. Ce dernier acide s'expédie aussi dans de grands récipients en grès fixés sur des wagons. Il arrive assez souvent que les touries d'acide se brisent spontanément pendant le remplissage ou le transport, sans que l'on puisse attribuer ce phénomène à une cause extérieure visible. Les ouvriers

occupés à leur maniement doivent toujours porter des lunettes de sûreté destinées à préserver leurs yeux de projections d'acide toujours éventuelles.

Pour vider les touries d'acide, on emploie très souvent le siphonnage. Afin d'éviter d'avoir à amorcer le siphon à chaque récipient, la grande branche du siphon est munie d'un robinet à son extrémité. Le siphon est amorcé en le remplissant d'eau ou de liquide, puis on règle son débit en manœuvrant le robinet. On construit également un modèle de siphon s'amorçant par insufflation d'air, ce qui présente un très grand avantage sur l'aspiration au

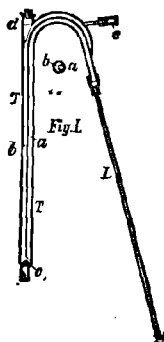


FIG. 118.

point de vue de la sécurité.

La figure 118 représente le dispositif employé. La partie de siphon destinée à être plongée dans le liquide T est composée de deux tubes *a* et *b* emboîtés l'un dans l'autre. A la partie inférieure du tube *b* se trouve une bille de verre *c* formant soupape. Cette bille est introduite par l'ajutage *d* qui sert également au nettoyage de l'appareil. L'ajutage *e* est fermé par un bout de caoutchouc lorsque l'appareil fonctionne. Lorsqu'on plonge le tube *b* dans le liquide, le liquide soulève la bille *c* et monte jusqu'au niveau qu'il occupe dans le récipient. Si l'on souffle alors doucement par *e*, la soupape se ferme et le liquide monte dans *a*, puis passe dans le tube L. Le siphon est alors amorcé et il suffit de refermer l'ajutage *e* pour que le liquide s'écoule régulièrement. On peut même éviter cette manipulation en reliant *e* avec une petite soufflerie constituée par une poire en caoutchouc.

Pour désarmer le siphon et arrêter l'écoulement, il suffit de souffler vivement deux ou trois fois, ce qui a pour effet de chasser le

liquide contenu dans la grande branche du siphon. Pour que le siphon s'amorce, il suffit que le volume de liquide contenu dans le gros tube *b* puisse remplir la petite branche. Il faut donc que le récipient à siphonner contienne une hauteur suffisante de liquide. S'il n'en est pas ainsi, on a recours à un siphon de forme un peu différente (*fig. 119*). Le gros tube se termine par un entonnoir *f* qui sert à le remplir; le liquide ferme la soupape *e* par son propre poids et s'écoule par *L* en amorçant le siphon. L'ajutage *e* sert à arrêter l'écoulement; il suffit pour cela de le démonter de son obturateur en caoutchouc. Lors de la

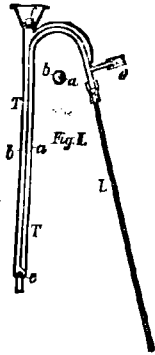


FIG. 119.

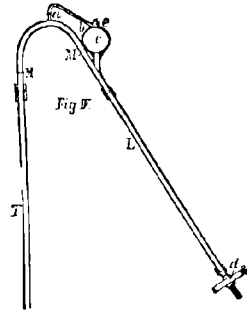


FIG. 120.

mise en marche, l'entonnoir *f* doit être rebouché dès que le liquide commence à s'écouler. Cette forme de siphon permet de l'amorcer alors même que le récipient ne contient que très peu de liquide et de le vider entièrement.

Lorsque l'on veut siphonner rapidement de grandes quantités de liquide, les siphons qui viennent d'être décrits ne peuvent être employés, car la soupape s'oppose à ce que l'on puisse les construire avec des tubes de gros diamètre. On emploie alors un siphon (*fig. 120*) composé de trois parties réunies par des tubes en caoutchouc *T*, *M* et *L*. La branche *L* peut être fermée à l'aide d'un robinet ou d'une pince à vis *d*. Sur la branche *M* se trouve une boule creuse *c* portant un ajutage *b* et une ouverture *e*; l'ajutage *b* est relié à un autre ajutage *a* par un tube en caoutchouc. On remplit la boule *c* avec de l'eau ou avec le liquide à siphonner, on met en place le bouchon *e* et on ouvre la pince *d*. L'air contenu dans le siphon se rassemble en *c*, tandis que le liquide s'écoulant par *d* amorce aussitôt l'appareil. La communica-

tion des deux branches par *a* et *b* est indispensable, lorsqu'il s'agit d'amorcer un siphon de grandes dimensions.

De plus, la boule *c* recueille les gaz qui pourraient se dégager du liquide pendant le siphonnage et empêchent qu'elles ne nuisent au fonctionnement de l'appareil. Elle est surtout utile lorsqu'il s'agit de siphonner de l'acide chlorhydrique concentré.

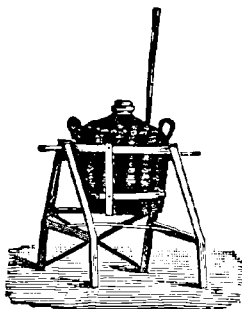


FIG. 121.

Si l'on veut arrêter momentanément l'écoulement, il suffit de fermer *d*; s'il est nécessaire de désamorcer le siphon, on ouvre l'orifice *e*.

Les siphons de ce genre se construisent en verre, en grès, en ébonite, etc. La grande branche est généralement en verre ou en plomb; elle est le plus souvent amovible de manière à diminuer la fragilité de l'appareil.

On peut vider les touries d'acide en les inclinant; dans ce cas, il est indispensable de les placer sur un support en fer (*fig. 121*), portant un panier suspendu par deux tourillons. On évite ainsi toute chance d'accident, le débit pouvant être réglé très aisément.

TRANSPORT DES GAZ

Le transport des gaz, vapeurs, fumées, s'effectue par les mêmes moyens que celui de l'air; aussi traiterons-nous ces questions simultanément.

La densité du gaz à transporter exerce une influence indéniable sur la facilité de ce transport, mais cette influence est très peu sensible; aussi n'en tient-on compte que dans des cas tout à fait particuliers. La quantité de gaz à transporter est généralement calculée en volume; il est toujours facile d'en déduire le poids correspondant. Si le volume varie pendant le transport par refroidissements, chauffage, compression ou expansion, il est nécessaire d'en tenir compte.

Pour mettre un gaz en mouvement, il faut ou le comprimer ou l'aspirer. Étant donné une quantité fixe de gaz à faire circuler dans un temps déterminé, il faut créer une certaine pression ou une certaine aspiration. Au point de vue économique, la pression réalisée doit se rapprocher autant que possible de cette valeur théorique. Mais il est rarement possible d'observer exactement cette condition, car l'emploi ultérieur du gaz nécessite souvent qu'il possède un excédent de pression ou de dépression pour remplir les conditions exigées.

D'autre part, le transport des gaz sous faible pression exige des canalisations d'un très grand diamètre; au contraire, en augmentant leur pression, on peut les animer d'une vitesse considérable, et faire passer les mêmes volumes de gaz par une section beaucoup plus restreinte. La canalisation est alors beaucoup moins coûteuse, mais la force motrice nécessaire plus considérable.

Les matériaux employés pour construire la canalisation et les appareils sont différents, suivant la nature des gaz à transporter. Si ces gaz sont secs et sans action chimique, on pourra employer les mêmes matériaux que pour l'air; il suffit de considérer si l'on veut éviter l'échappement des gaz à l'air libre ou l'introduction d'air dans ces gaz.

Si les gaz sont humides, on doit donner à la canalisation une pente suffisante et ménager de distance en distance des dispositifs permettant à l'eau condensée de s'écouler sans que le gaz puisse s'échapper.

Les conduites de gaz chaud doivent être protégées du refroidissement par un revêtement isolant.

Les gaz devant être transportés sous pression élevée ou sous dépression considérable exigent des conduites faites avec un soin tout particulier. Les parois des tubes employés doivent posséder une épaisseur plus considérable, de façon à augmenter leur résistance et à éviter plus sûrement les inconvénients dus à leur porosité. On doit prendre d'autant plus de précautions dans l'établissement des conduites d'aspiration que les fuites, qui se manifestent par des rentrées d'air, sont très difficiles à découvrir.

Lorsque l'on a à transporter des gaz chauds, leur chaleur se communique inévitablement aux appareils de propulsion et aux con-

duites. On doit donc prendre les mesures de précaution nécessaires pour éviter les inconvénients qui pourraient en résulter. Les gaz chauds provenant de la combustion possèdent souvent une température s'élevant jusqu'à 400°; ils provoquent la rupture d'un grand nombre de matériaux, en raison des inégalités de dilatation qui se manifestent. La tôle peut supporter des températures très élevées en raison de sa résistance et de sa malléabilité; cependant il arrive souvent qu'elle subit des déformations notables. Comme il en est de même de tous les métaux, la tôle et la fonte sont les matériaux les plus employés pour la construction des parties mobiles d'appareils. Les conduites fixes peuvent être faites en maçonnerie ou en béton; dans le cas où elles viendraient à se fendre sous l'action de la chaleur, il serait facile de réparer la partie endommagée. Les paliers des arbres en mouvement (axes de ventilateurs, etc.) sont placés en dehors des appareils ou refroidis continuellement par circulation d'eau.

Pour le transport des gaz peu acides, le bronze est souvent employé; si les gaz renferment des vapeurs nitreuses, on doit avoir recours au plomb antimonié. Les métaux émaillés résistent également bien à l'action de la plupart des vapeurs acides. Si les gaz renferment des dérivés du fluor (tels sont les gaz dégagés pendant la fabrication des superphosphates), on emploiera avantageusement le bois pour protéger les parties métalliques de leur attaque.

Les peintures et les enduits préconisés pour protéger les métaux contre l'action des vapeurs ou des gaz acides ne fournissent généralement pas de résultats satisfaisants.

Pour la propulsion des gaz, on emploie les appareils que nous avons décrits au sujet des liquides. Les injecteurs, les appareils à jet de vapeur, d'eau ou d'air comprimé ne peuvent être employés que lorsque le mélange de vapeur, d'eau ou d'air au gaz à transporter ne présente aucun inconvénient pour son emploi ultérieur, cas d'ailleurs assez rare.

Les appareils les plus employés pour la propulsion des gaz sont:

Les ventilateurs et les exhausteurs (ventilateurs à hélice);

Les pompes rotatives;

Les pompes à air.

Le transport des gaz peut aussi s'effectuer sans avoir recours à des

moyens mécaniques ; les gaz que l'on veut envoyer dans l'atmosphère peuvent être aspirés par une cheminée ; ceux que l'on veut utiliser ultérieurement peuvent être mis en mouvement en les chauffant ou en les refroidissant.

En ce qui concerne la construction des appareils servant au transport des gaz, leurs parties mobiles sont surtout exposées à l'action de la force centrifuge développée par leur rapide mouvement de rotation. Elles doivent être construites avec des matériaux suffisamment résistants ; cependant leurs différents éléments peuvent être beaucoup plus légers que ceux des appareils analogues destinés au transport des liquides.

Les ventilateurs à force centrifuge sont généralement construits en tôle et en fonte. Les uns sont aspirants, les autres soufflants ; cette distinction n'est d'ailleurs pas absolue, et il arrive souvent qu'un même ventilateur agit pour aspirer et souffler en même temps, lorsqu'il est intercalé sur une canalisation, par exemple. Dans le cas des ventilateurs aspirants, l'air aspiré est seul canalisé ; il est rejeté à l'air libre. Les ventilateurs soufflants présentent le dispositif inverse.

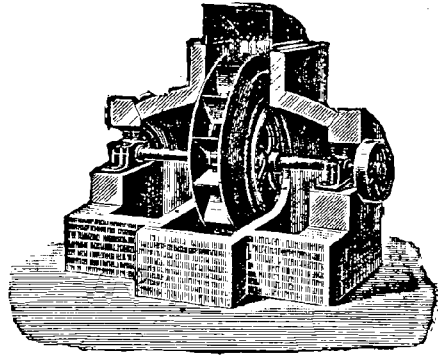


FIG. 122.

Les ventilateurs aspirants ou soufflants sont constitués par une roue à palettes logée dans une enveloppe en tôle, en fonte, en maçonnerie ou en bois. Cette roue tournant très rapidement sur son axe entraîne l'air dans son mouvement de rotation ; l'air est aspiré par le centre et rejeté vers la périphérie en raison de la force centrifuge.

Les exhausteurs ouverts ne possèdent pas d'enveloppe extérieure ; l'air entraîné par les ailettes est immédiatement chassé à l'extérieur.

Les ailettes doivent être équilibrées de telle façon que le centre de gravité coïncide exactement avec le centre de rotation. Cette condition est indispensable pour la bonne marche et la sécurité du fonctionnement de l'appareil. La forme de l'enveloppe extérieure varie sui-

vant la nature des matériaux qui la constituent. Si elle est en fonte, elle peut affecter les formes les plus compliquées ; il n'en est pas de même si elle est en tôle ou en maçonnerie.

La pression maximum que l'on puisse atteindre avec les ventilateurs de ce genre est d'environ 300 millimètres d'eau ; la quantité d'air mis en mouvement est à peu près proportionnelle à la vitesse de rotation. Si l'on veut doubler le volume d'air déplacé, on doit donc doubler également cette vitesse. Pour déterminer le volume de gaz déplacé, on calcule la section de la canalisation d'écoulement, et on la multiplie par la vitesse du gaz mesurée à l'aide d'un anémomètre.

Pour mesurer la pression sous laquelle fonctionne une installation existante, on relie une prise de gaz, placée sur la canalisation, à un tube de même diamètre au moyen d'un tuyau en caoutchouc. Le tube est enfoncé verticalement dans l'eau, jusqu'au moment où il n'y a plus ascension de bulles de gaz dans le liquide. La hauteur dont le tube est enfoncé dans l'eau à ce moment indique la pression sous laquelle travaille le ventilateur. La force dépensée est proportionnelle au volume d'air débité et à la pression ou à la dépression obtenue. Pour l'obtenir, on multiplie le volume en mètres cubes par seconde par la pression ou la dépression mesurée en millimètres d'eau. Le produit multiplié par 2 et divisé par 75 donne la force pratiquement nécessaire en chevaux.

Exemple : un ventilateur débitant 1^m,5 par seconde à la pression de 100 millimètres d'eau exigera une force de $\frac{1.500 \times 100 \times 2}{75} = 4$ chevaux.

Les ventilateurs à hélice se composent d'une roue portant des ailes de forme concave, plus larges au bord que vers l'axe. Ces ailes tournent dans une enveloppe cylindrique en tôle ; l'air est déplacé dans le sens de l'axe sur lequel sont fixées les ailettes. Les appareils de ce genre ne peuvent fournir qu'une très faible pression d'air ou de gaz ; par contre, le volume d'air mis en mouvement est très considérable. Un ventilateur de 1 mètre déplace 40 à 50.000 mètres cubes d'air par heure en employant environ 2 chevaux de force motrice. Les conduites d'air doivent posséder un très grand diamètre et être aussi courtes que possible de manière à ne pas diminuer le rendement utile. Ces appareils travaillent dans les conditions les

plus avantageuses lorsque l'aspiration et le refoulement d'air s'effectuent à l'air libre; la différence de pression ne doit pas dépasser 6 à 10 millimètres d'eau. Sans cette condition, l'appareil ne travaille plus dans de bonnes conditions, car la force motrice nécessaire croît comme le cube du nombre de tours par minute. Ces appareils sont surtout employés pour la ventilation et l'aération des usines, ateliers, filatures, etc.,

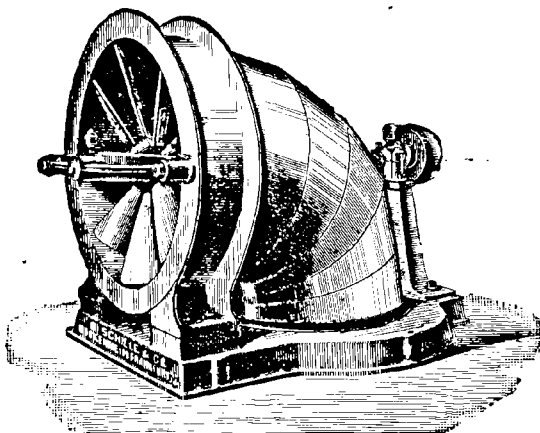


Fig. 123.

lorsqu'il s'agit d'évacuer des gaz chauds ou des gaz chargés de poussières, ou encore pour le séchage de toutes sortes de matières en

levant l'air saturé d'humidité et le remplaçant par de l'air frais.

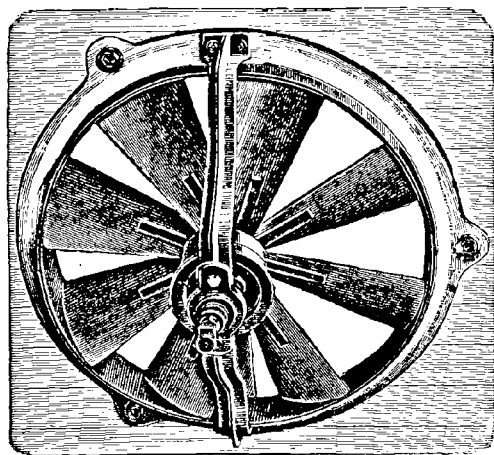


Fig. 124.

Le ventilateur à pression du système Rot se compose de deux palettes ou pistons entièrement métalliques tournant dans un cylindre en fonte alésé intérieurement. Ils sont analogues par leur disposition aux pompes

rotatives à deux axes de Hoppe. Ces pistons tournent en sens inverse et restent constamment en contact pendant leur mouvement de rota-

tion; la concordance de ces mouvements de rotation est généralement assurée par deux engrenages extérieurs. Dans d'autres modèles, les pistons sont eux-mêmes dentés. Certains de ces appareils produisent un bruit intolérable pendant leur fonctionnement, et il est bon de tenir compte de cette circonstance avant de fixer son choix.

Les ventilateurs Roots peuvent donner de l'air sous pression d'un mètre d'eau; on se contente généralement de 45 à 50 centimètres. Sous ce rapport, ils sont très supérieurs aux ventilateurs à four centrifuge. Par contre, ils leur sont très inférieurs au point de vue du volume d'air déplacé. La quantité d'air ou de gaz déplacé reste constante lorsque la vitesse de rotation l'est elle-même (300 tours par minute environ). La pression ou la dépression se règle automatiquement sur la résistance éprouvée par le gaz lors de son passage dans les conduites ou les appareils qui l'utilisent. La propulsion de l'air se faisant d'une façon intermittente, il est bon d'interposer un réservoir d'air sur la canalisation, si l'on tient à avoir une compression ou une aspiration bien régulière. Les appareils de ce genre sont surtout employés pour alimenter les cubilots, les forges et les foyers de toute nature en air sous pression.

Les compresseurs d'air sont des pompes à piston, à simple ou à double effet qui sont destinées, comme leur nom l'indique, à comprimer l'air ou les gaz, mais qui peuvent aussi servir à mettre simplement ces fluides en mouvement. Pour refouler un gaz à travers une longue conduite et à une certaine hauteur, il faut le même travail que pour le comprimer à une certaine pression dans un récipient et maintenir cette pression constante. L'air comprimé peut être utilisé pour la production de force motrice, tout en assurant la ventilation dans les galeries de mines, pour l'élévation des liquides au moyen de monte-jus ou encore pour l'agitation de liquides en le faisant dégager par un tube percé de trous et disposé au fond du récipient.

Bien que la compression de l'air dégage beaucoup de chaleur, un bon compresseur doit fournir de l'air aussi frais que possible; la force motrice consommée doit être aussi faible que possible et la fraction de l'air aspiré échappant à la compression ultérieure doit être très restreinte. Le piston et les autres parties mobiles doivent satisfaire, au point de vue de leur construction, aux mêmes conditions que les pièces analogues de machines à vapeur.

Les compresseurs peuvent être verticaux ou horizontaux ; ils peuvent être disposés pour être mus par une machine à vapeur, par courroie ou à la main. L'organe le plus important est celui qui règle l'entrée et la sortie de l'air. Ces mêmes appareils peuvent servir comme pompe à vide ; il suffit pour cela de relier l'ouverture par laquelle se fait l'aspiration au récipient dans lequel on veut faire le vide.

Les organes employés jusqu'à ces derniers temps pour assurer la distribution de l'air étaient uniquement les robinets et les soupapes des modèles les plus variés. L'emploi de ces organes avait pour conséquence que toutes les pompes à air travaillaient avec un rendement peu élevé. On a réalisé un grand progrès dans ce sens en remplaçant la distribution par soupapes par la distribution par tiroir. Le jeu des soupapes était en effet entravé par la présence de l'espace nuisible et la nécessité de marcher à une allure lente.

Les premiers compresseurs à tiroir ont été construits par l'ingénieur Weiss, de Bâle, qui expose comme suit les inconvénients résultant de la présence de l'espace nuisible dans les pompes à soupapes : « La soupape d'aspiration ne se soulève pour laisser pénétrer une nouvelle quantité d'air que lorsque la tension de l'air se trouvant derrière le piston s'est abaissée à la tension de l'air se trouvant dans l'espace où s'effectue l'aspiration ; au début, la tension de l'air est nécessairement la même sur les deux faces du piston.

« Si une pompe servant à faire le vide possède un espace nuisible s'élevant à 5 0/0 du volume du cylindre et que la pression existant dans le récipient à vider soit de 1/10 d'atmosphère, l'air contenu dans l'espace nuisible doit à chaque coup de piston se dilater de la pression dans le réservoir (1/10), c'est-à-dire que le piston doit parcourir $5 \times 10 = 50$ 0/0 du volume du cylindre avant que la soupape d'aspiration puisse se soulever. Le rendement volumétrique ne peut donc dépasser 50 0/0.

« Pour diminuer l'influence de l'espace nuisible, on a cherché à le rendre aussi minime que possible. On peut aussi le remplir avec un liquide, le plus souvent l'eau ; ces nouvelles pompes sont dites humides. Pour éviter d'une part les coups d'eau, d'autre part la projection du liquide, les pompes de ce genre doivent avoir une marche très lente ; par suite, elles sont proportionnellement plus grandes, plus lourdes et plus coûteuses. »

« D'un autre côté, la vitesse de rotation des pompes à vide à soupapes est forcément très modérée. La course des soupapes automatiques doit être très restreinte, car, pour une course un peu longue, la masse de la soupape emmagasine une force vive telle qu'elle est vivement projetée tantôt contre la butée qui limite sa course, tantôt sur son siège. Ce dernier est rapidement endommagé, et la soupape ne tarde pas à fuir ; il arrive même souvent qu'elle se brise.

« Si, d'une part, la course de la soupape doit être très restreinte, d'autre part, sa surface doit être grande, de façon que l'air trouve un passage facile. Mais on ne dispose pas généralement de la place nécessaire, même si l'on remplace chacune des soupapes par plusieurs plus petites.

« La section libre offerte au passage de l'air est donc limitée, d'une part, par la course des soupapes, et, de l'autre, par leur surface qui est nécessairement faible ; par suite, la vitesse du piston doit être modérée. Malgré toutes les précautions, la marche du piston ne peut jamais être réglée de telle façon qu'elle soit en concordance parfaite avec le fonctionnement des soupapes. Il arrive très souvent que la soupape d'aspiration, aussi bien que celle de compression, n'est pas encore fermée lorsque le piston reprend sa course. Une partie de l'air aspiré est rejeté dans la conduite d'aspiration, ou bien l'air déjà comprimé reste dans le cylindre et est comprimé de nouveau en pure perte. Comme cette cause de perte est constante pour un compresseur donné, la diminution de rendement qu'elle entraîne croît proportionnellement à la vitesse de rotation de la pompe. L'usure des soupapes est elle-même d'autant plus rapide que la pompe marche plus vite. »

« Weiss a paré à tous ces inconvénients et a totalement éliminé l'influence de l'espace nuisible en réalisant la distribution à l'aide d'un tiroir. Ce tiroir est d'une construction tout à fait semblable à celle du simple tiroir de machine à vapeur, l'air qui se meut dans ses canaux suivant un trajet exactement inverse de celui qui suivrait la vapeur. L'aspiration a donc lieu par le tuyau d'échappement, et l'air comprimé sort par la canalisation servant à introduire la vapeur. Cette disposition a pour conséquence d'appuyer le tiroir sur la surface sur laquelle il glisse par la pression même de l'air comprimé.

L'influence de l'espace nuisible est éliminée par ce fait que, dans la coquille du tiroir, est ménagé un canal par lequel l'air comprimé dans

l'espace nuisible est ramené à l'autre face du piston lorsque celui-ci est parvenu au terme de sa course. Il est donc ajouté à l'air déjà aspiré contenu dans le cylindre et ultérieurement utilisé. De plus, la pression existant sur les deux faces du piston se trouve ainsi égalisée et l'aspiration commence exactement au moment où le piston dépasse le point mort. Le tiroir est construit de telle façon que la partie du cylindre où s'effectue l'aspiration ne peut jamais être mise en communication avec celles où s'effectue la compression. Pour éviter une détente de l'air au moment où le tiroir change de direction, sa face extérieure porte une soupape formée par une surface plane à très faible course, de façon qu'elle puisse fonctionner régulièrement et exactement, quelle que soit la rapidité de marche de la pompe.

Les compresseurs à tiroir pouvant marcher à grande vitesse peuvent être de dimensions beaucoup plus restreintes que les pompes à soupape ; ils sont, par suite, moins coûteux et toutes leurs parties sont disposées pour être facilement accessibles. Le rendement de ces machines est très satisfaisant ; les constructeurs le garantissent de 90 0/0. Il faut, en outre, faire ressortir que leur surveillance n'exige aucune connaissance spéciale, puisqu'elles sont en tout semblables à une machine à vapeur. Les compresseurs Weiss sont refroidis par circulation d'eau tout autour du cylindre ; le gaz comprimé reste donc sec, ce qui n'est pas le cas lorsque le refroidissement est assuré par injection d'eau dans le cylindre lui-même.

Avant de terminer ce chapitre, nous dirons quelques mots des dispositifs employés pour se débarrasser des gaz ou des vapeurs nuisibles ou éliminer les impuretés gênantes qu'elles contiennent.

Un grand nombre de gaz ou de vapeurs dégagés au cours de la fabrication de produits chimiques sont susceptibles de nuire gravement à la santé des ouvriers qui y sont occupés. De plus, ces gaz ou ces vapeurs répandus dans l'atmosphère peuvent causer de graves préjudices aux plantations situées dans leur voisinage et donner lieu à des difficultés avec les propriétaires voisins. C'est ainsi que les environs de fabriques d'acide chlorhydrique sont souvent absolument dévastés en raison des vapeurs acides qu'elles déversent dans l'atmosphère. De même, les fuites survenant aux conduites de gaz d'éclairage ne tardent pas à infecter le sol et à entraîner la mort de tous les végétaux existant à proximité. Pour cette raison, on doit éviter de faire circuler

les gaz nuisibles sous le sol, et cela d'autant plus qu'il existe un grand nombre d'autres dispositifs.

Dans la majorité des cas, on trouvera grand avantage à recueillir les gaz au moment même de leur production et à les canaliser aussitôt. Les vapeurs dégagées pendant la nitration, l'évaporation, la fusion, etc., sont dirigées sous une hotte munie d'un bon tirage qui les aspire et les empêche de se répandre dans la salle. Il en est de même de l'air chargé de poussières.

Si les gaz dégagés sont nuisibles par eux-mêmes, on les dirige vers la cheminée qui les déverse dans l'atmosphère à une hauteur telle qu'ils ne peuvent plus nuire; avant de retomber sur le sol, ils sont dilués dans une telle quantité d'air que leur action devient négligeable. Si les gaz ou vapeurs sont simplement gênants, il suffit de les envoyer au-dessus du toit de l'usine par une cheminée en bois. Le toit de l'atelier peut aussi être construit avec une lanterne dont les parois latérales sont munies de lames de bois inclinées, disposées à la façon d'une jalousie, de façon à permettre aux vapeurs de se dégager librement à l'air. Lorsqu'il s'agit d'éliminer de grandes quantités de vapeur d'eau, on les aspire d'une façon continue, en même temps qu'une certaine quantité d'air. On peut encore les déplacer par de l'air chaud et, par suite, capable de fixer une certaine quantité de vapeur d'eau, et aspirer le tout. Par ce dernier moyen, on évite la formation dans l'atelier de ces épais nuages de vapeur si gênants. Sous ce dernier rapport, l'air chaud et sec fournit des résultats beaucoup plus satisfaisants que l'air froid et humide.

On ne doit pas perdre de vue que, lorsqu'on évapore à l'air libre une solution aqueuse d'un sel, quelle que soit sa nature (carbonate de soude, sulfate de cuivre, etc.), les vapeurs dégagées entraînent mécaniquement une proportion notable de dissolution et, par suite, de sel. Si le sel est toxique (sulfate de cuivre, par exemple), ces vapeurs participent donc de sa propriété. On ne doit pas se contenter de tenir compte de l'action gênante de la vapeur d'eau, mais envisager les sérieux inconvénients qui peuvent résulter de l'inhalation de ces vapeurs chargées de particules de sel métallique toxique.

Dans un grand nombre de cas, les précautions décrites sont insuffisantes, et il est indispensable de séparer les éléments nuisibles avant de déverser le gaz ou les vapeurs dans l'atmosphère. Le moyen le plus

efficace consiste à condenser les vapeurs ou à les précipiter en les refroidissant. Les vapeurs sont dirigées à travers de longues conduites placées dans des fosses pleines d'eau. On peut encore les envoyer dans des galeries de mines abandonnées, des puisards, ou les mettre en contact direct avec de l'eau finement pulvérisée. On doit toujours s'assurer que ces moyens conduisent réellement à une purification suffisante. Les précipités (poussières en suspension) se rassemblent sous forme de masses dures ; les vapeurs acides se condensent sous forme de solution aqueuse qui peut attaquer les conduites. Il faut donc prévoir la nécessité du nettoyage ou de la réparation des canalisations de temps à autre.

On peut encore faire barboter les gaz ou les vapeurs dans de l'eau ou tout autre liquide susceptible d'absorber et de retenir les éléments nuisibles. Cette façon de faire exige que les gaz possèdent une certaine pression, suffisante pour vaincre la résistance de la colonne d'eau qu'ils doivent traverser ce qui représente une dépense de force motrice.

On peut également employer des tours garnies intérieurement de coke, de pierres siliceuses, de fagots de brindilles présentant des interstices suffisants pour livrer passage aux gaz. Ceux-ci arrivent par la partie inférieure de l'appareil, tandis que l'eau destinée à les laver est distribuée uniformément à la partie supérieure. La circulation des gaz exige qu'ils possèdent une certaine pression ; dans le cas contraire, on peut les aspirer à la partie supérieure. Les tours à coke sont munies de portes hermétiquement closes et permettant d'enlever le coke recouvert de résidus et de le remplacer. Le coke ainsi utilisé peut encore être brûlé. En raison de sa porosité, il assure un contact très intime entre les gaz et l'eau ; il est, en outre, bon marché et très employé pour toutes ces raisons.

Si les gaz nuisibles sont produits dans une partie de l'usine un peu éloignée, il est peu avantageux de les conduire à la cheminée principale de l'établissement. On préfère souvent faire l'installation d'un foyer spécial à proximité de leur point de production, plutôt que d'établir une canalisation longue et coûteuse. Si l'on se décide pour cette dernière solution, la canalisation doit être munie de regards ou de fosses permettant de la nettoyer et de rassembler les résidus en quelques points.

Les vapeurs émanant de matières résineuses ou grasses sont non seulement facilement combustibles, mais aussi aisément inflammables. Pour cette raison, les tours à coke ne doivent pas être installées dans le voisinage direct des foyers assurant le tirage. Les canalisations doivent être faites en maçonnerie ou en fer.

Lorsqu'il s'agit de transporter des gaz chargés de particules solides ou de vapeurs acides, les injecteurs à jet de vapeur sont nettement préférables aux ventilateurs susceptibles d'être mis rapidement hors de service.

CHAPITRE IV

MATÉRIEL DE BROYAGE

Le broyage des matières premières ou des produits fabriqués joue un rôle très important dans de nombreuses industries et surtout en métallurgie. Les conditions dans lesquelles il s'effectue ont une répercussion directe sur le prix du traitement et peuvent mettre en question toute son économie.

La détermination du procédé le plus avantageux doit se faire avec le plus grand soin pour chaque cas particulier, et l'on doit y apporter d'autant plus d'attention que le nombre des appareils de broyage est très considérable. Ce choix doit être fait en tenant compte de la nature de la matière à traiter, de sa dureté, de sa grosseur primitive et de l'état de division auquel il est nécessaire de l'amener et, enfin, de la quantité de produit à traiter dans un laps de temps déterminé. Le prix des appareils répondant à ces conditions multiples et la connaissance de leurs avantages particuliers permettent seuls de se décider en connaissance de cause.

La plupart des constructeurs d'appareils de broyage possèdent une installation d'essai qu'ils mettent à la disposition de leurs clients. Cette facilité est de nature à permettre d'examiner comment se comportent les matières à traiter suivant l'appareil employé, et d'en déduire celui auquel on doit avoir recours.

D'une manière générale, on peut grouper les appareils de broyage en trois classes, suivant l'état de division des produits obtenus :

Concasseurs divisant les blocs en fragments de grosseur régulière;

Broyeurs amenant ces fragments à la grosseur de grains de sable ;
Pulvérisateurs les transformant en poudre fine analogue à la farine.

CONCASSEURS

Pour le concassage, on emploie généralement des concasseurs de pierres qui fragmentent les matières, qu'elles soient dures ou tendres, en morceaux de dimensions variables.

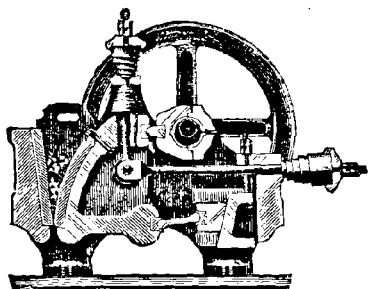


FIG. 125.

La figure 125 montre un appareil de ce genre qui se compose d'un bâti très robuste auquel est fixé la mâchoire fixe. La mâchoire mobile est mue par un excentrique et commandée par une courroie ou une petite machine à vapeur. Les deux mâchoires font entre elles un angle assez aigu, de sorte que les frag-

ments de substances sont facilement saisis et broyés jusqu'à ce qu'ils puissent s'échapper par la partie inférieure, dont la largeur peut être réglée à volonté.

Le concasseur de la figure 126 permet de régler l'écartement des mâchoires et, en outre, leur course pendant la marche.

Le levier coudé est disposé de manière à se briser lorsque les substances opposent une résistance par trop considérable, et cela, avant que les autres parties de l'appareil ne soient endommagées.

Par l'emploi de plaques en fonte dure et par un réglage convenable de l'écartement de leurs mâchoires, ces appareils permettent de concasser en fragments gros comme des noix le basalte, le ciment, le coke, les minerais divers, le quartz, les pyrites, les scories Thomas, l'émeri naturel, etc. Les broyeurs du deuxième groupe servent à réduire en poudre grossière les matières en grains de 5 à 10 millimètres de diamètre. Leur construction diffère suivant la dureté des matières à traiter.

Pour les matières dures (minerais, roches dures), on emploie les moulins à cylindres lisses ou cannelés, les meules et les pilons. Le sable

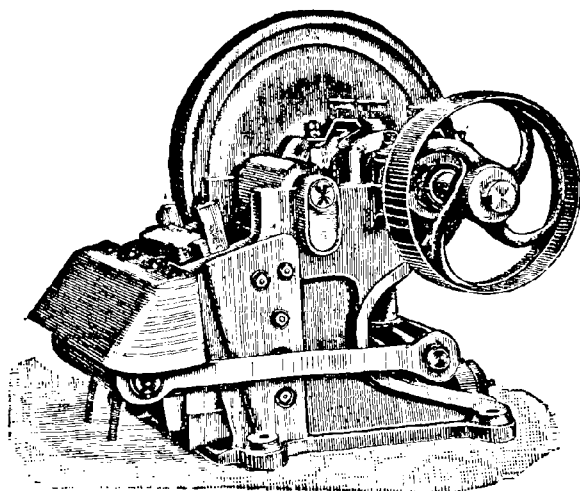


FIG. 126.

grossier que l'on obtient est particulièrement bien approprié aux trai-

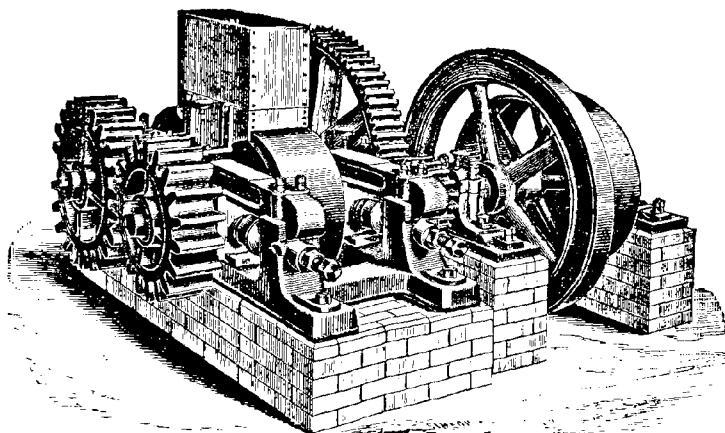


FIG. 127.

tements ultérieurs que l'on aura à lui faire subir pour l'amener à l'état de poudre très fine.

Dans les moulins à cylindres (*fig. 127*), l'un des cylindres est fixe,

l'autre, mobile, est maintenu en contact avec le premier par des ressorts puissants. Ces ressorts évitent que les cylindres ne cassent lorsque des fragments de matière par trop dure s'engagent entre eux deux et évitent les chocs violents. Le cylindre fixe est actionné par une poulie commandée par une courroie; un lourd volant placé sur le même axe régularise l'effort et maintient la vitesse dans des limites normales. Le mouvement de rotation se transmet d'un cylindre à l'autre au

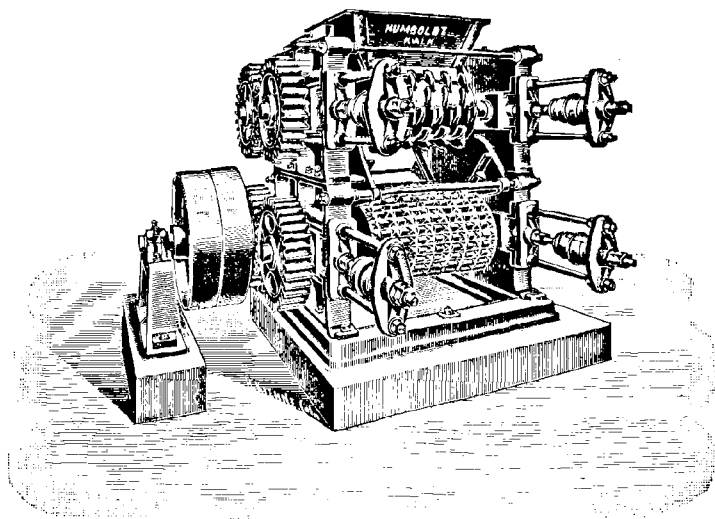


FIG. 128.

moyen d'engrenages. Il est avantageux d'amener la matière d'une façon automatique et régulière au moyen d'un dispositif à secousses, ce qui régularise le travail et diminue l'usure des cylindres.

Si la matière est trop dure pour pouvoir être amenée du premier coup au degré de division désiré, on emploie des appareils composés de deux ou trois paires de cylindres superposés. La matière passe successivement entre les différents cylindres et se réduit en fragments de plus en plus petits. La figure 128 montre un appareil de ce genre construit par la maison Humboldt. Les cylindres venant en contact peuvent être animés de vitesses de rotation différentes, de manière à ajouter au mouvement de rotation un mouvement de glissement, qui augmente encore la production et la finesse du produit obtenu.

Les broyeurs à meules (*fig. 129*) se distinguent des broyeurs à cylindres en ce qu'ils permettent d'amener un produit à l'état de poudre impalpable, comme cela est souvent nécessaire dans le broyage des couleurs.

La commande s'effectue par le haut ou le bas suivant les dispositions locales. L'axe vertical est maintenu à sa partie supérieure par un coussinet et repose à sa partie inférieure dans une crapaudine. Les meules en pierre ou en fonte sont reliées à l'axe vertical de manière à ce qu'elles soient obligées de le suivre dans son mouvement, mais tout en pouvant s'élever ou s'abaisser

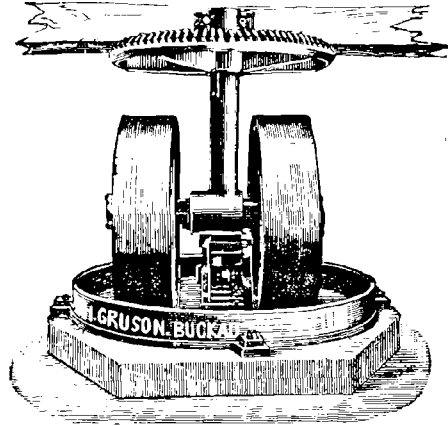


FIG. 129.

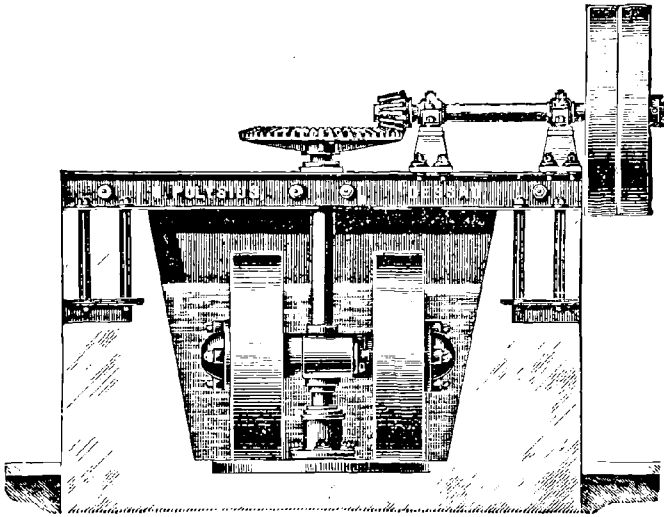


FIG. 130.

suivant la grosseur des fragments de matière à écraser. Elles tournent sur une aire circulaire en fonte dure. La matière tend à se rassembler sur les bords du plateau, mais elle est constamment ramenée vers son

centre par des raclours mécaniques. Elle n'est enlevée que lorsque l'on a obtenu le degré de finesse désiré.

Dans d'autres modes de construction, les meules ne sont mobiles qu'autour d'un axe horizontal, et c'est le plateau circulaire qui est mis en rotation à l'aide d'une couronne dentée et d'un pignon d'angle.

Ces mêmes broyeurs à meules sont souvent construits de manière à travailler en présence d'une certaine quantité d'eau (*fig. 130*); les

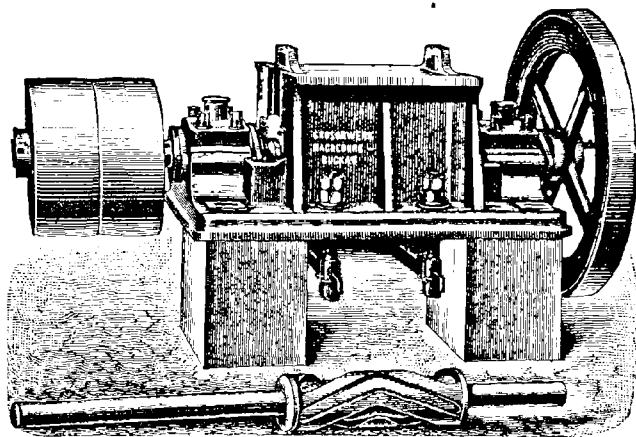


FIG. 131.

particules finement broyées se mettent en suspension dans le liquide et peuvent être recueillies en faisant écouler celui-ci à la partie supérieure de la cuve. Ces appareils sont employés pour délayer l'argile, la craie, les terres à couleurs dans lesquelles se trouvent des mottes ou des corps solides. L'eau est amenée d'une façon continue et le schlamm produit est conduit au dehors par un trop-plein. La matière à broyer est versée directement par le haut dans la fosse en maçonnerie contenant le moulin à pâte. L'écoulement de l'eau est réglé de manière à obtenir la finesse désirée.

Pour le concassage préalable des matières de dureté moyenne : calcaire demi-dur, craie, sulfate de baryte, carbonate de soude, etc., on emploie avantageusement les moulins à vis (*fig. 131*), dont la construction est assez simple. Dans une auge en fonte, garnie de plaques en fonte durcie, tourne une vis en fonte qui entraîne la matière au-

dessous d'elle et l'écrase. A partir de son milieu, cette vis est munie de pas de vis dirigés à droite et à gauche de façon à éviter toute pression latérale sur les paliers de commande et, par suite, la production d'un frottement nuisible. La partie inférieure de l'auge est constituée par une grille formée de barreaux pouvant être rapprochés ou écartés; la matière concassée passe entre ces barreaux. L'espace existant entre la vis et la grille est réglable de manière à permettre de remédier à l'usure.

La matière est introduite dans l'appareil à l'état de morceaux gros comme le poing et le quitte à la finesse désirée. Les moulins à vis permettent de traiter de grandes quantités de matière (3.000 kilogrammes par heure avec les plus petits modèles) et ne nécessitent que très peu de

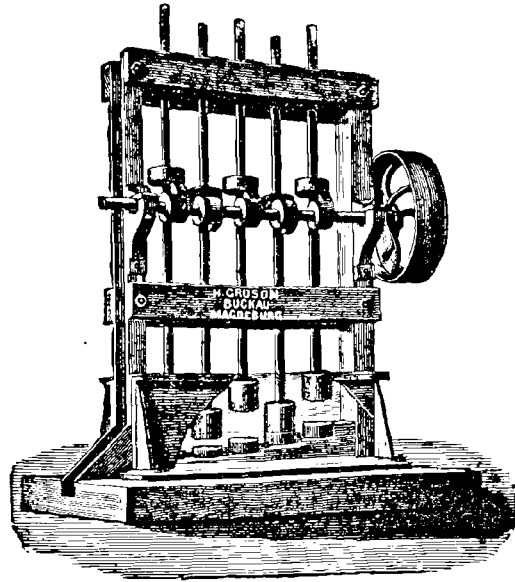


FIG. 132.

réparations. La matière broyée est en grains de 10 à 15 millimètres de diamètre, mélangés avec de la poudre plus ou moins grossière.

Les bocards (*fig. 132*) sont employés depuis fort longtemps pour le concassage des minerais. Le concassage s'effectue à l'aide d'un certain nombre de pilons qui sont alternativement soulevés au moyen de cames et écrasent par leur chute la matière placée sur une sole disposée à la façon des marches d'un escalier. Cette sole peut encore être formée par une grille par les fentes de laquelle la matière tombe au fur et à mesure qu'elle est pulvérisée.

Ces machines n'exigent que très peu de réparations et sont d'une surveillance très facile. Leur production est naturellement d'autant plus grande que les matières sont plus facilement friables.

Les appareils qui viennent d'être décrits sont particulièrement

applicables aux matières dures ; mais, le cas échéant, ils peuvent être employés à traiter des matières tendres, à l'exception toutefois des bocards. Nous décrirons maintenant quelques appareils spécialement applicables au broyage des matières tendres.

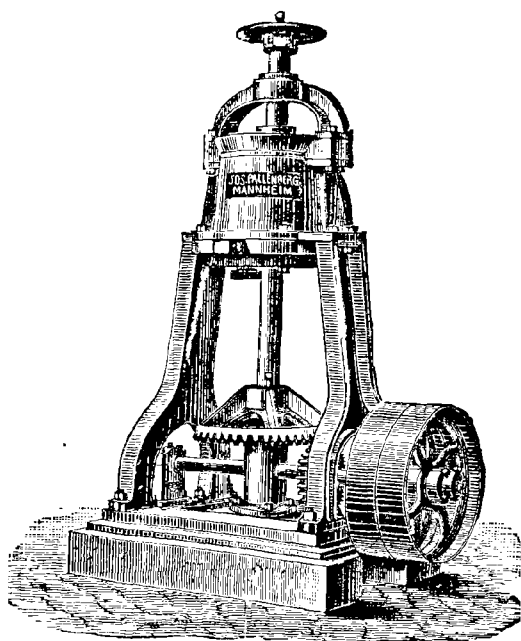


Fig. 133.

Les moulins à noix (*fig. 133*) sont commandés, suivant le cas, par la partie supérieure ou par la partie inférieure. L'organe principal est une trémie en fonte munie de nombreuses cannelures dans laquelle tourne un cône également en fonte. L'espace existant entre la partie supérieure de la trémie et le cône est suffisant pour que les morceaux gros comme le poing puissent être saisis et entraînés. A la partie inférieure cet espace n'a guère que 2 à 3 millimètres. Il en résulte que

les matières qui s'engagent entre les deux cônes sont peu à peu broyées et ne s'échappent à la partie inférieure que lorsqu'elles sont parvenues à un degré de division suffisant. Ces appareils sont surtout employés pour le broyage du charbon, de la craie, de l'argile cuite, etc. Leur production est assez élevée et leur entretien en bon état est très facile.

Lorsque l'on désire obtenir une production plus considérable et un produit en poudre grossière, on emploie avantageusement les désintégrateurs (*fig. 135*). Le broyage est obtenu au moyen de deux tambours (*fig. 134*), composés chacun d'un disque en fer forgé, sur le pourtour duquel sont fixés des barreaux en acier disposés en deux ou plusieurs cercles concentriques. Ces tambours sont de diamètres différents et placés sur un même axe de telle façon que chaque rangée de

barreaux tourne entre deux rangées de barreaux appartenant à l'autre tambour. Le tout est placé dans une enveloppe en tôle. La matière à

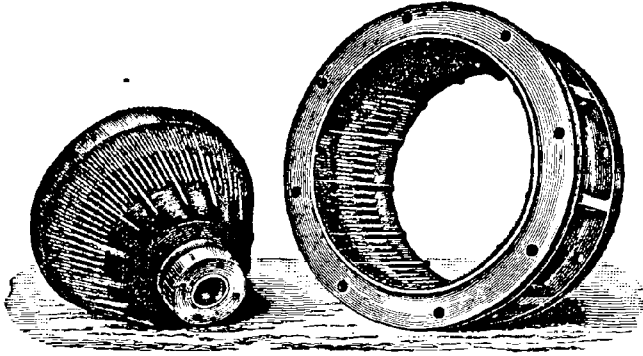


FIG. 134.

broyer est introduite par la partie centrale des tambours qui tournent en sens inverse ; en raison de la force centrifuge, elle est projetée

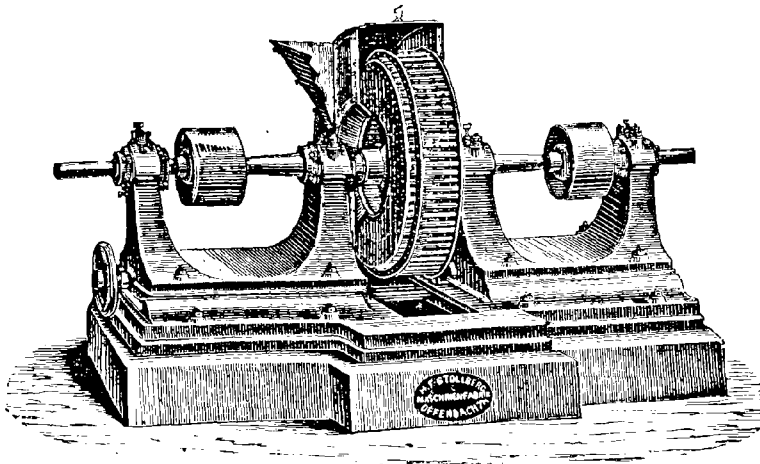


FIG. 135.

contre les barreaux en acier et divisée par les chocs successifs, jusqu'au moment où elle peut s'échapper en passant à travers les barreaux.

La finesse dépend de la nature de la matière, de la vitesse des tambours et du nombre des rangées de barreaux.

Ces appareils fournissent des résultats remarquables pour le broyage de la magnésie, du guano, du soufre, des superphosphates, de la pierre à chaux, de la chaux vive, etc. Ils exigent une surveillance attentive et un entretien sérieux en raison de leur grande vitesse de rotation (jusqu'à 1.000 tours par minute). La réparation des tambours est assez difficile, et généralement elle ne peut être faite que par les

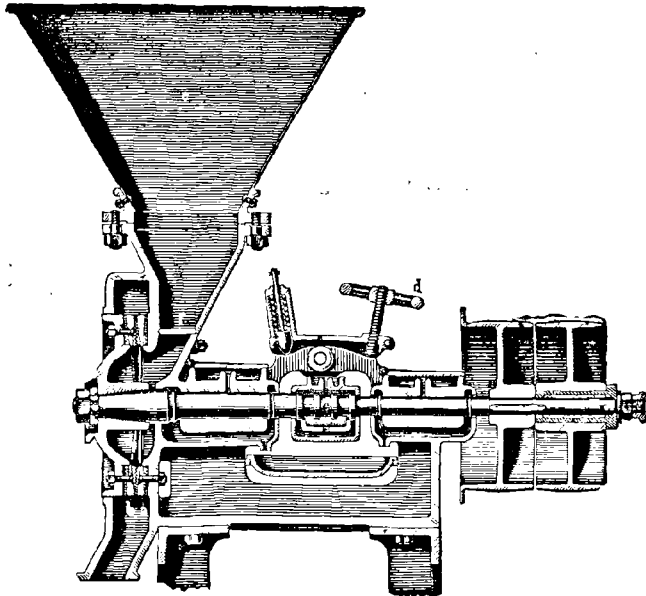


FIG. 136.

constructeurs eux-mêmes. Aussi est-il nécessaire, pour éviter toute interruption de travail, d'avoir toujours une paire de tambours en réserve. Ces appareils sont construits sans modifications sensibles par la plupart des constructeurs.

Les broyeurs Excelsior (*fig. 136*) construits par la maison Krupp constituent les derniers appareils de ce groupe. Leur organe principal est constitué par deux disques *a* et *b* représentés en détail (*fig. 137*). Ces disques sont armés de dents à section triangulaire qui s'emboîtent les unes dans les espaces ménagés entre les dents de l'autre. La matière à broyer est placée dans une trémie *e* et s'écoule par un registre *f* que l'on peut ouvrir plus ou moins ; elle arrive au centre des disques et la force centrifuge la projette vers leur circonférence. En passant dans

les intervalles ménagés entre les dents, elle est rapidement broyée. Le disque *a* est immobile et fixé au bâti, tandis que le disque *b*, fixé sur l'arbre *c*, tourne avec lui. Le volant *d* permet de régler l'écartement des deux disques; en outre, leurs deux faces sont munies de dents et il suffit de les retourner lorsque les dents d'une face sont usées. Si la matière à broyer est en fragments trop gros pour pouvoir s'engager entre les disques, on commence par la faire passer entre deux cylindres cannelés qui la concassent grossièrement.

Ces broyeurs sont employés pour réduire en poudre l'alun, le

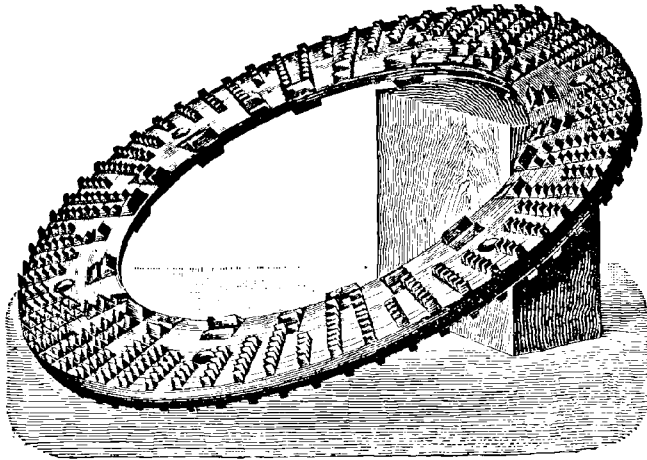


FIG. 137.

borax, le sulfate de cuivre, le soufre, le salpêtre, etc., etc., en général des matières d'une dureté moyenne.

Les dismembrateurs construits par la maison Krupp participent à la fois des désintégrateurs et des broyeurs Excelsior. Ils se composent, comme le montre la figure 138, de deux disques sur le pourtour desquels sont implantées des tiges en acier disposées suivant des cercles concentriques. Les tiges de l'un des disques correspondent aux espaces libres de l'autre. En outre, l'un de ces disques est fixe, tandis que l'autre est mobile. Les dismembrateurs sont employés pour le broyage du sel gemme, du plâtre, de la craie, etc. On tend à les remplacer par les broyeurs Excelsior, car les tiges en acier s'usent rapidement et sont d'un remplacement coûteux.

Les broyeurs à marteaux reposent sur un principe très différent de ceux des appareils décrits jusqu'ici. La matière est divisée par le choc des masses ou marteaux en acier disposés en nombre variable sur la périphérie d'un moyeu calé sur un axe tournant à grande vitesse. Ces marteaux sont articulés de façon à pouvoir se replier lorsqu'ils

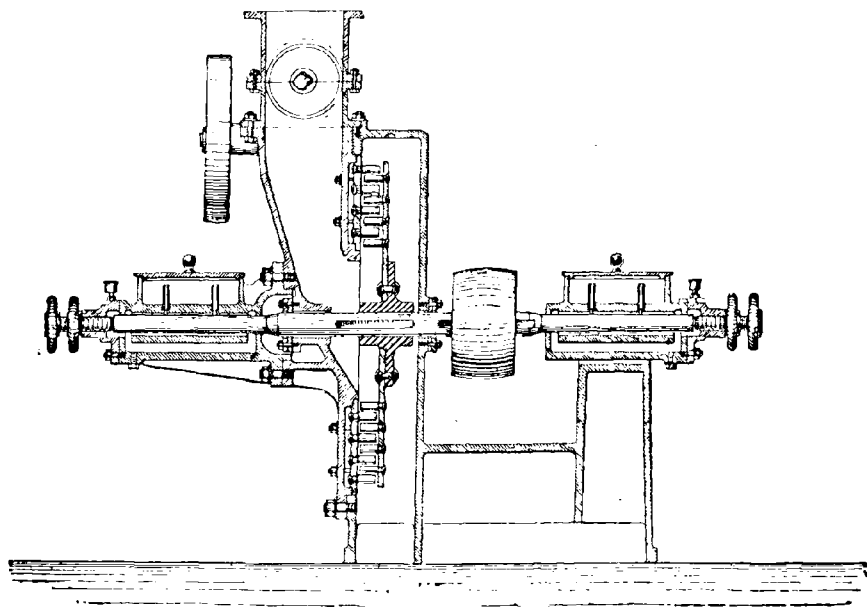


FIG. 138.

rencontrent un fragment très dur ou qu'un excès de matières est introduit dans l'appareil. Les fragments de matières introduits dans l'appareil sont donc cassés à la volée, comme ils le seraient à la main à l'aide d'un marteau ordinaire. Le bâti de l'appareil est en deux parties, le socle et le chapeau. Ce dernier est mobile d'un côté par une articulation formant charnière, de l'autre il est maintenu par un boulon articulé. L'intérieur de l'appareil est garni de plaques en acier dentelé de grande dureté, maintenues par des boulons afin d'en permettre le remplacement facile. Les parois latérales et la partie supérieure du chapeau sont garnies de même. Le fond de l'appareil est muni d'une grille dont les barreaux possèdent un écartement variable

suivant le degré de division à atteindre, et par laquelle s'échappent les matières broyées.

Les fragments à diviser sont introduits par une trémie contenant une hélice qui assure l'alimentation régulière.

Le concassage s'effectue tant par le choc direct des marteaux sur les fragments que par le choc de ceux-ci sur les parois de l'appareil. Ces désagrégateurs présentent l'avantage de réaliser en une seule et même opération le broyage et le tamisage.

PULVÉRISATEURS

Les appareils que nous avons à décrire sont particulièrement destinés à la transformation des substances diverses en poudre fine analogue à la farine par son état de division. Les appareils employés dans ce but sont les moulins à meules et les broyeurs à boulets.

Les moulins à meules peuvent être à meule dormante supérieure ou inférieure. Le broyage est effectué par deux meules en pierre spéciale ; ces meules sont percées en leur centre d'une ouverture servant au passage de l'arbre de commande de la meule mobile et à l'introduction de la matière. En outre, leur surface est sillonnée de rainures disposées suivant les rayons du cercle constituant la meule ; les meules sont placées horizontalement. Leur écartement est réglable de façon à pouvoir supprimer les effets nuisibles de l'usure de la pierre et régler le degré de finesse du produit moulu.

Dans les moulins à meule dormante inférieure, la matière tombe sur la meule fixe où elle attend que la meule supérieure l'entraîne peu à peu sous elle. Au contraire, dans les moulins à meule dormante supérieure, elle tombe directement sur la meule animée d'un mouvement rapide et est projetée aussitôt par la force centrifuge vers l'intérieur. Aussi ce dernier dispositif fournit-il un rendement supérieur à celui du premier.

Les moulins à meules sont employés avec avantage pour réduire en poudre fine la chaux, la craie, le plâtre, le charbon, les couleurs, etc.

La matière brute à pulvériser, est introduite dans le moulin en morceaux ayant environ la grosseur d'une noisette pour en sortir réduite en poudre fine. Le produit obtenu possède un degré de finesse et d'uniformité tel que le tamisage est inutile.

Dans le cas où l'on tient avant tout à avoir un produit réduit en poudre impalpable et lorsque la question de production n'a qu'une

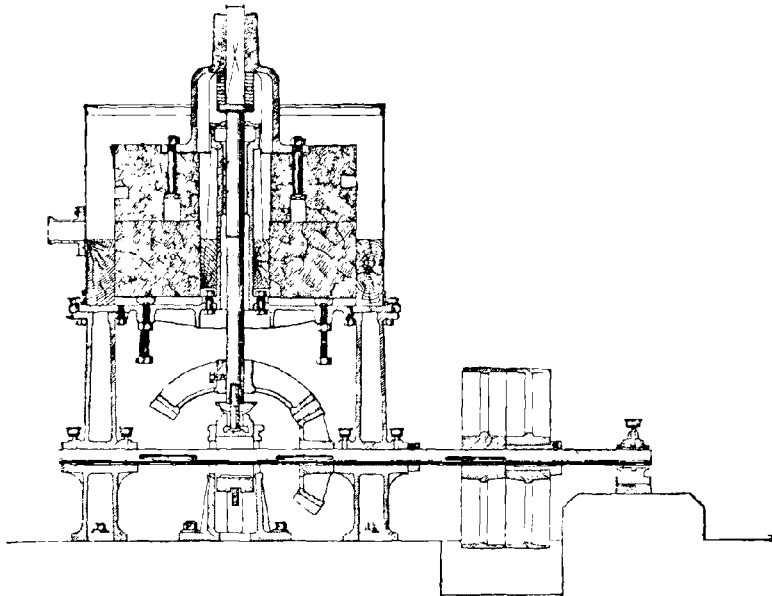


FIG. 139.

importance accessoire, on effectue la même mouture par l'eau (*fig. 139*). Le fonctionnement est absolument le même; ce procédé est surtout employé dans la fabrication de la cellulose pour remplacer les piles raffineuses, dans celle du ciment par voie humide et pour le broyage des émaux.

Bien que connus depuis longtemps, les broyeurs à boulets ne sont entrés dans la pratique courante que depuis quelques années et avec un succès tel qu'ils ont véritablement révolutionné l'art du broyage.

Dans de très nombreux cas, ils permettent de remplacer à eux seuls toute une installation comprenant casseurs de pierres, moulins à cylindres et moulins à meules par un seul et unique appareil dans lequel on introduit la matière en morceaux gros comme les deux

poings pour la sortir à l'état de poussière aussi fine que l'on peut le désirer.

Les broyeurs à boulets exigent beaucoup moins d'emplacement pour leur installation que les autres appareils. En outre, ils sont beaucoup moins coûteux de frais d'achat et d'entretien. Dans la très grande majorité des cas, l'installation d'un broyeur à boulets répond à tous les besoins, tandis qu'il fallait autrefois installer au moins deux appareils différents pour obtenir un produit fini. C'est pour toutes ces raisons péremptoires que les broyeurs à boulets ont trouvé un très large débouché dans l'industrie et que leur construction fait l'objet de nombreux brevets.

Le plus simple de tous les broyeurs de ce genre est composé d'un cylindre en tôle ou en fonte tournant autour de son axe et dans

lequel on introduit la matière à broyer avec des boulets en acier ou en silice. Lorsque l'on fait tourner l'appareil sur lui-même, les boulets et la matière tombent pêle-mêle, et les nombreux chocs qui se produisent amènent le broyage rapide de la matière. La vitesse de rotation est faible, de manière que les boulets n'accompagnent pas le cylindre dans son mouvement de rotation, mais qu'ils en occupent toujours la partie inférieure.

Le moulin à boulets frappeurs du système Smidth, construit par

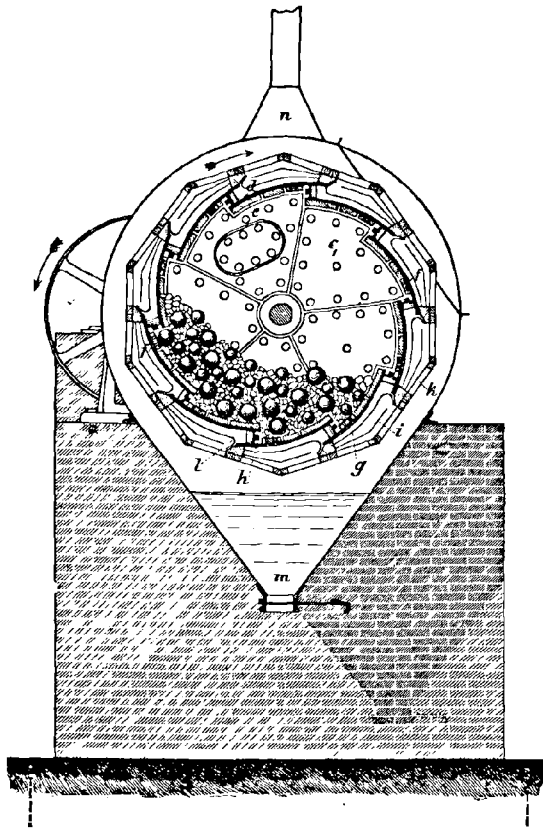


FIG. 140.

la maison Davidsen, effectuée en une seule opération le concassage, la pulvérisation et le tamisage. Il consiste en un tambour contenant un certain nombre de boulets en acier de différentes grosseurs dans lequel on introduit la matière par le centre de l'une des parois laté-

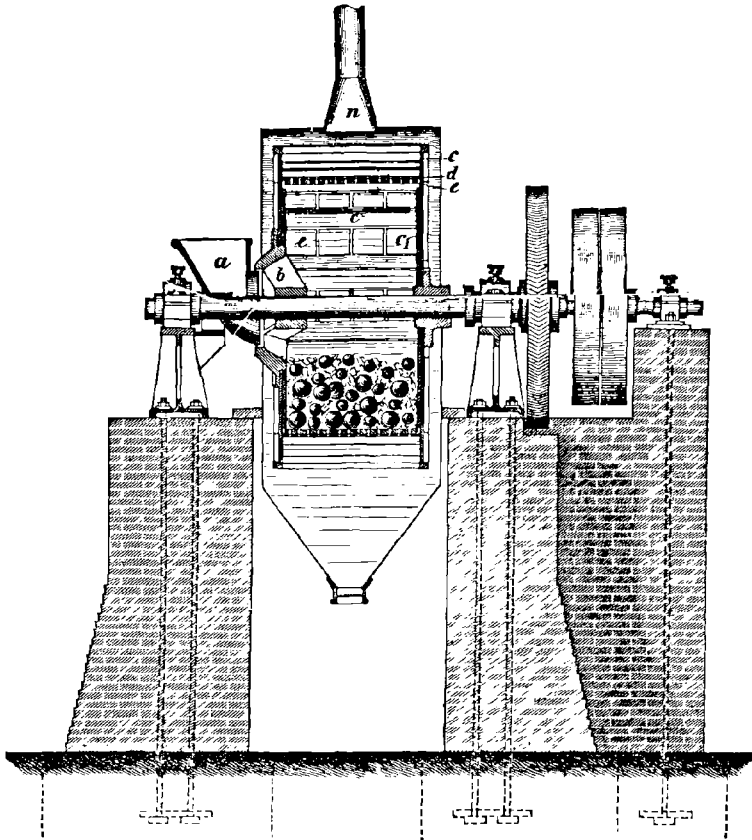


FIG. 141.

rales au moyen de la trémie *a* et de l'ouverture *b*. Ces parois sont protégées d'une usure trop rapide par des plaques en fonte dure *c*₁; elles sont réunies par de solides traverses *f*, disposées en gradins qui constituent la voie de moulage proprement dite. Ces traverses sont elles-mêmes revêtues de plaques en fonte; elles sont perforées de telle sorte que la matière broyée peut passer au travers. De plus, autour du tambour se trouvent une série de tamis de plus en plus

fius dont chacun renvoie dans le broyeur tout ce qui est trop gros pour le traverser. La matière qui passe à travers la dernière toile a atteint la finesse désirée ; elle est recueillie dans la trémie *m*.

Lorsqu'on met l'appareil en marche, la matière et les boulets font une série de chutes successives, si bien que les boulets, d'une part, se déplacent les uns par rapport aux autres et, d'autre part, produisent, à chaque fois qu'ils tombent sur une nouvelle marche, un choc qui augmente leur effet. Le broyage est obtenu d'une part par le choc, d'autre part par le frottement des boulets les uns contre les autres et contre les parois. On peut introduire dans ce broyeur des blocs ayant jusqu'à 300 millimètres de longueur sur 150 de côté. S'il ne doit servir que comme préparateur, il suffit de supprimer l'un des tamis.

La vitesse de rotation des broyeurs à boulets de ce genre est très faible (25 à 50 tours par minute). D'autres constructeurs emploient un dispositif analogue, mais font tourner des bras animés d'un mouvement de rotation très rapide dans une enveloppe fixe. Au lieu de rester toujours à la partie inférieure de l'appareil, les boulets et la matière sont entraînés dans ce mouvement de rotation, et l'action de la force centrifuge se substitue à celle de la pesanteur. On peut la régler à volonté en faisant varier la vitesse de rotation. La matière est introduite près de l'axe de rotation et le produit broyé s'échappe par une des parois latérales verticales qui est perforée dans ce but.

La figure 142 représente une combinaison brevetée du séparateur par courant d'air et du broyeur à boulets.

Le broyage est effectué par les boulets *c* qui tournent dans une rainure circulaire dont ils épousent la forme ; ils sont entraînés dans un mouvement de rotation par les bras mobiles *d*. Ces boulets agissent donc non par leur pesanteur, mais par leur force centrifuge. La matière à broyer est introduite par la trémie *f* tournant avec l'ensemble de l'appareil et la trémie fixe *g*. Au-dessus de la voie de moulage *e* sont disposées deux enveloppes concentriques *h* et *i*. L'enveloppe extérieure *i* est complètement close, tandis que l'enveloppe *h* est ouverte à sa partie supérieure. Un ventilateur *k* est disposé en ce point ; ses palettes sont placées sur des bras mobiles *l* tournant avec l'appareil.

La matière introduite par la trémie de chargement *g* est broyée par les boulets ; lorsqu'elle a atteint un certain degré de finesse, elle est

entraînée par le courant d'air produit par le ventilateur *k* et mise en suspension dans l'air du tambour *h*; les parties les plus grosses retombent dans l'appareil, tandis que les autres poursuivant leur chemin viennent se déposer entre les enveloppes *i* et *h*, point où le cou-

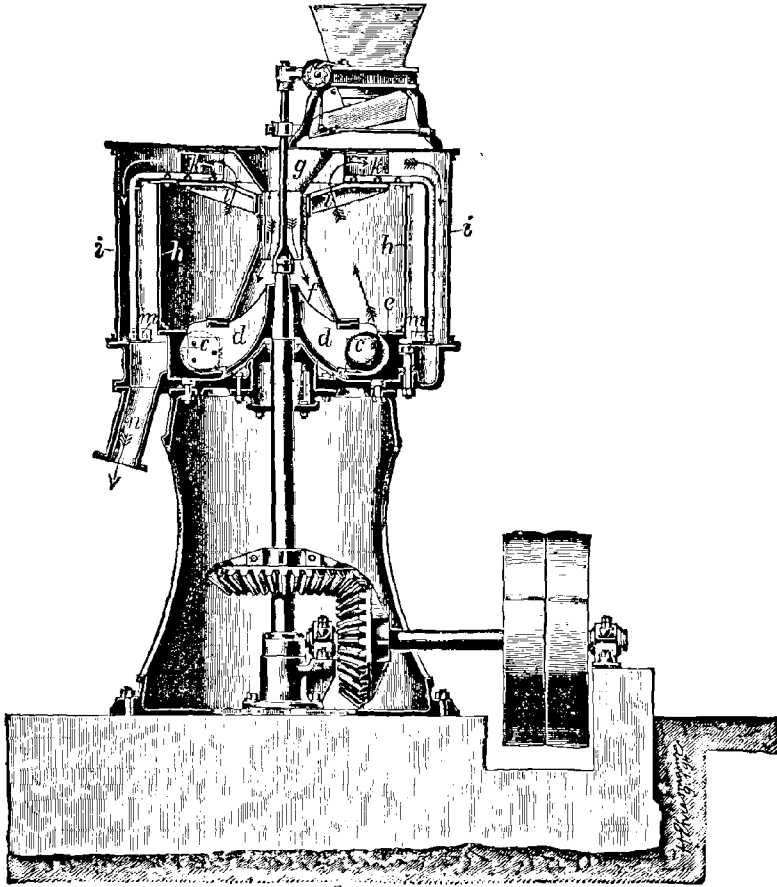


FIG. 142.

rant d'air est considérablement ralenti. Le frotteur *m*, qui tourne également, ramasse ces poussières et les dirige vers la trémie d'évacuation *n*. Ce système présente le grand avantage de supprimer radicalement l'emploi de tout tamis et, par suite, d'éliminer une cause fréquente de réparations. De plus, il exige peu de force pour son

fonctionnement et un faible emplacement pour son installation.

Les ateliers de construction Naegel et Kaemp, de Hambourg, ont fait breveter un broyeur pour produit fin, qui utilise également la force centrifuge comme moyen d'action (*fig. 143*). Les organes actifs sont

trois disques *c* mobiles à l'extrémité d'axes *e*. Ces axes sont articulés à leur extrémité *f* sur plusieurs bras *g* que l'axe *h* entraîne dans son mouvement de rotation. Sous l'influence de la force centrifuge, les disques *c* sont fortement pressés contre la voie de moulage *b*, et ils pulvérisent la matière qui s'interpose entre eux et cette dernière. Un tamis circulaire *p* permet à la matière suffisamment pulvérisée seule de parvenir aux ouvertures par lesquelles elle peut s'échapper. Grâce à l'articulation *f*, les disques peuvent se déplacer dans le sens des rayons, tandis que les manchons *e* et les ressorts *m* limitent leurs oscillations dans le sens de la tangente. L'introduction de la matière s'effectue par la trémie *v* et le canal *q*.

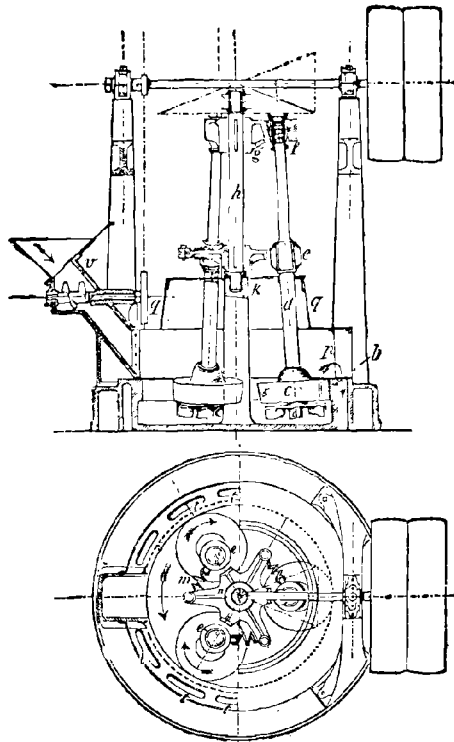


FIG. 143.

La Société Humboldt construit également un broyeur à pendules centrifuges particulièrement approprié au broyage des matières dures (*fig. 144*). Il est surtout destiné à réduire, d'un seul jet, à une grande finesse, des minerais finement imprégnés ou des produits mixtes, tout en évitant de réduire à l'impalpable une trop grande proportion de minerai stérile, comme c'est le cas des bocards et des broyeurs à boulets. En outre, la proportion de matière à broyer à nouveau est beaucoup moins grande qu'avec les broyeurs à cylindres ordinaires. Ce

broyeur répond à un besoin ressenti depuis longtemps au cours de la préparation des minerais.

Ce broyeur à pendules centrifuges se compose d'un mortier avec anneau de broyage intérieur contre lequel s'appuient quatre bagues suspendues librement à une croix. La pression des bagues sur leur

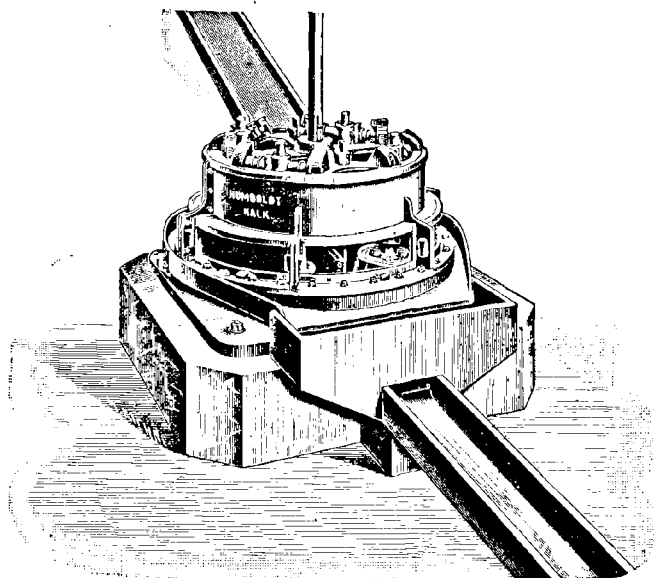


FIG. 144.

chemin de roulement est due à la force centrifuge et peut être réglée à volonté en faisant varier la vitesse de rotation de l'appareil. Des racloirs participent au mouvement de rotation à l'intérieur du mortier et ramènent continuellement la matière à pulvériser vers l'anneau de broyage et les tamis d'évacuation qui entourent la cuvette. Ces tamis sont formés de tissus en bronze phosphoreux ou de tôles perforées de fentes obliques.

Le pivot vertical et les pendules sont logés dans des paliers bien protégés contre l'accès d'eau ou d'impuretés. La commande s'effectue par courroie et à l'aide d'une poulie horizontale en bois. On obtient ainsi une marche silencieuse. L'alimentation se fait au moyen d'un distributeur automatique consistant en une trémie avec sabot à mouvement automatique.

Nous avons déjà indiqué les grands avantages que présentent les broyeurs à boulets sur les autres. Lorsque l'on veut éviter tout con-

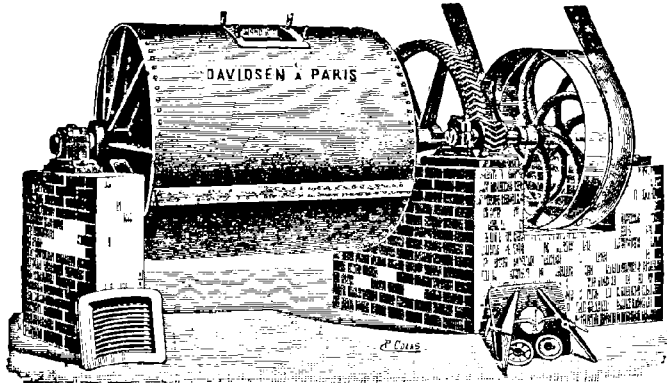


FIG. 145.

tact métallique, on emploie des broyeurs à boulets composés d'un cylindre en tôle ou en fonte revêtu intérieurement d'une enveloppe en porcelaine dure. Si le broyeur est de faibles dimensions, cette enveloppe peut être en une seule pièce; dans la majorité des cas, elle est formée par l'assemblage de briques en porcelaine, fixées par un ciment très dur. Les boulets en fonte ou en bronze sont remplacés dans ce cas par des galets en silex. Quel que soit le temps exigé par la pulvérisation, on n'introduit aucune particule métallique dans le produit broyé. Cette condition est essentielle lorsqu'il s'agit de broyer des émaux ou des couleurs vitrifiables.

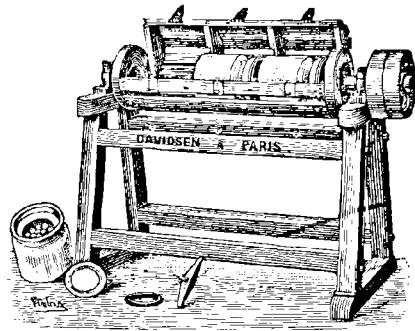


FIG. 146.

La figure 145 représente un appareil de ce genre dénommé cylindre Alsing et construit par la maison Davidsen.

Si l'on veut de même broyer sans contact métallique une petite quantité de mortiers (sel métallique, verre, silex, etc., etc.), on emploie avantageusement les appareils à jarres (*fig. 146*). Dans des jarres en

grès, on introduit la matière à pulvériser, grossièrement concassée au préalable, puis un certain nombre de boulets en silex ou en porcelaine. On dispose plusieurs jarres semblables sur un cadre en bois qui les maintient en position et les entraîne dans son mouvement de rotation. La matière se trouve soumise à l'action continuelle des billes et ne tarde pas à être réduite en poudre impalpable. Cet appareil est très commode pour les essais de laboratoire, car il permet de broyer simultanément et sans aucune surveillance plusieurs produits différents.

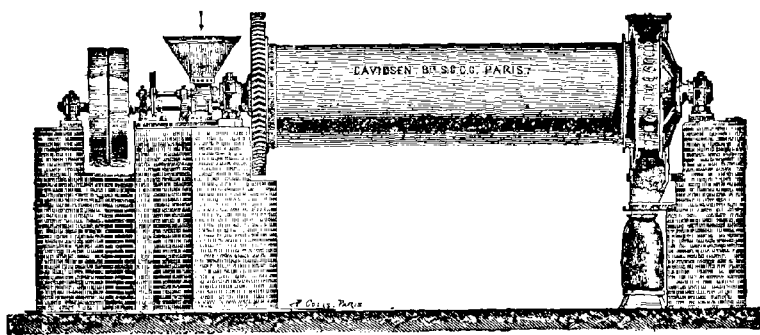


FIG. 147.

Les broyeurs à boulets de grandes dimensions ne sont pas montés sur un axe ; ils reposent sur quatre galets montés deux par deux sur un support en fonte. L'enveloppe extérieure du broyeur porte une couronne dentée, et l'appareil est mis en mouvement par l'intermédiaire d'un engrenage et de cette couronne.

Les broyeurs à boulets décrits jusqu'ici présentent l'inconvénient de ne fonctionner que d'une façon intermittente. Leur rendement se trouve considérablement diminué de ce fait, en même temps que les frais de main-d'œuvre se trouvent accrus, puisqu'on ne peut leur appliquer un mode d'alimentation automatique.

On a donc cherché à appliquer le principe du broyage par boulets à un appareil à fonctionnement continu. On est arrivé à ce résultat en employant un long cylindre tournant autour de son axe et partiellement rempli de billes en pierre ou en métal effectuant le broyage pendant la rotation. Ce dispositif a reçu le nom de tube broyeur (*fig. 147*).

La matière à broyer, préalablement réduite en petits grains et introduite dans le tube broyeur par le centre de l'un des fonds à l'aide

d'un alimentateur automatique. Pendant la rotation du tube, la matière, en raison de la pesanteur, avance graduellement vers l'autre fond du tube et, après avoir parcouru tout le tube et subi le travail broyant de toutes les billes, elle le quitte par de petites ouvertures ménagées sur la circonférence du fond. La matière n'est pas seulement broyée par les boulets dans le plan de rotation, mais aussi, à cause de son mouvement de progression, dans le sens de l'axe du tube, ce qui accroît beaucoup le travail des boulets.

Comme le tube est posé horizontalement, les billes se trouvent réparties uniformément, et la couche qu'elles forment a la même épaisseur d'un bout à l'autre du tube. La matière, au contraire, épouse la forme d'un plan incliné dont la plus grande hauteur se trouve vers l'introduction et qui diminue graduellement vers la sortie, et cela parce que la matière entre vers le centre et sort par la circonférence, ayant ainsi une différence de niveau égale au rayon du tube.

Il s'ensuit que graduellement, à mesure qu'elle avance et devient plus broyée, elle forme une couche plus mince ; comme, d'autre part, la couche de billes reste uniforme, la proportion entre la matière et la quantité de billes qui la travaillent augmente donc graduellement avec l'avancement et la finesse de la matière.

Pour régler la finesse du broyage, il suffit d'alimenter plus ou moins fort ; plus on alimente et plus on diminue la finesse du produit fini, et réciproquement. Les ouvertures de sortie par lesquelles la matière tombe peuvent être munies d'une enveloppe aménagée de façon à faire tomber la poudre fine directement dans les sacs ou les barils d'emballage. Cette disposition permet d'obtenir sans blutage un produit passant à travers un tamis de 5.000 mailles au centimètre carré. Les appareils de ce genre ont trouvé un très bon accueil dans les fabriques de ciment Portland et de produits céramiques.

D'autres constructeurs ont cherché à accroître l'action des broyeurs à boulets en les construisant avec un cylindre présentant des cannelures sur sa surface intérieure. Cette disposition augmente l'action des boulets, ceux-ci faisant une chute à chacun des passages des cannelures. Quel que soit le mode de construction du broyeur, le poids de matière soumise en une seule fois à l'action des boulets ne doit jamais dépasser une certaine quantité. Sans cela les boulets tombent sur une épaisse couche de matière, et leur action est à peu près nulle.

D'un autre côté, la vitesse de rotation donnée à l'appareil ne doit pas dépasser une certaine limite au-dessus de laquelle les boulets tendent à suivre l'appareil dans un mouvement de rotation, ce qui diminue considérablement leur effet utile.

Pour le broyage de l'indigo, on emploie un broyeur un peu différent

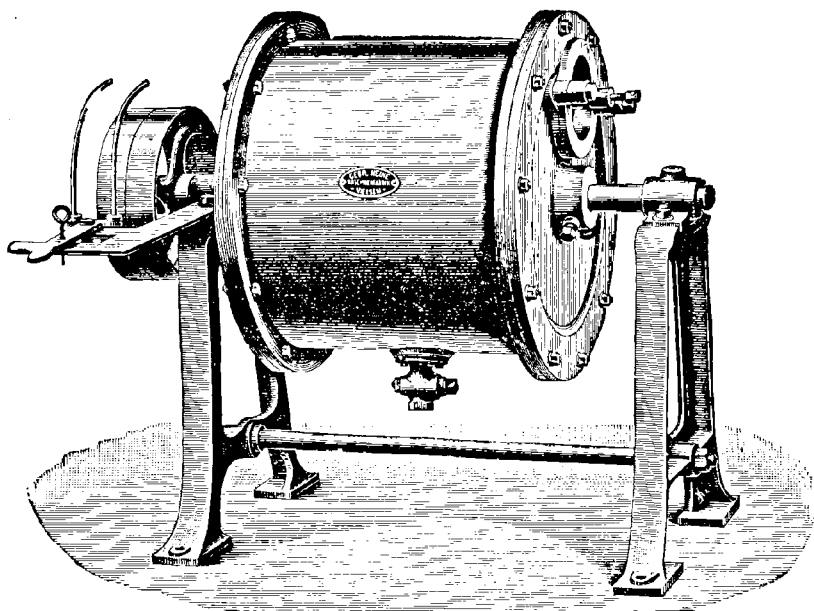


FIG. 148.

(*fig. 148*) composé d'un cylindre en tôle avec fonds rapportés. Une ouverture sert à introduire l'indigo humide et déjà ramolli. Le cylindre repose sur un support en fonte et tourne autour de son axe. Il renferme dans son intérieur plusieurs cylindres en fer qui amènent rapidement la pâte d'indigo au plus grand degré de finesse. L'indigo broyé s'écoule par un robinet placé à la partie inférieure du tambour.

Pour le broyage des couleurs minérales destinées à entrer dans la composition des peintures ou des encres d'imprimerie, les appareils précédents sont insuffisants. On a recours à des broyeurs composés de trois cylindres en syénite et en fonte dure tournant avec des vitesses

inégales. Le cylindre antérieur est animé d'un mouvement de translation, qui, combiné avec son mouvement de rotation, assure une usure parfaitement régulière de sa surface (*fig. 149*).

Pour écraser et broyer les graines oléagineuses, on emploie les

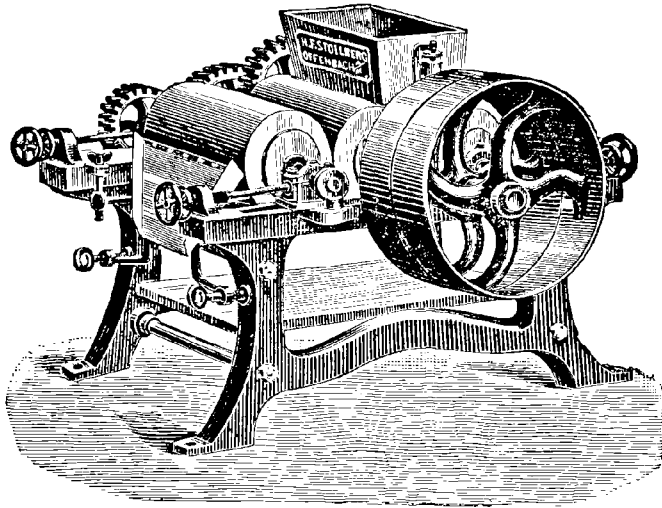


FIG. 149.

moulins à cylindres construits sur le même principe que les laminoirs. La surface des cylindres est rendue inégale de manière à ce que les graines ne puissent glisser et échapper à leur action. Suivant la grosseur et la nature des fruits à écraser, le mode de construction de ces appareils diffère notablement.

CHAPITRE V

MÉLANGEURS

Le mélange des corps, le plus souvent de propriétés différentes, a pour but de les réunir de façon à ne plus former qu'une seule masse homogène dans son ensemble.

L'intimité du mélange et sa perfection sont essentiellement variables suivant les propriétés des corps en présence et le but poursuivi. Lorsqu'il s'agit de mélanger plusieurs corps devant réagir les uns sur les autres, il est essentiel d'obtenir un mélange aussi parfait que possible. Sans cela, on obtient une masse présentant par endroits des excès de l'un des corps, et par suite la combinaison reste incomplète. Il en résulte une diminution de rendement, l'excès de corps non combiné se retrouvant naturellement à la fin de l'opération, ou un manque d'homogénéité de la masse obtenue. Il peut très bien arriver qu'un corps résultant du mélange de plusieurs autres ne possède pas les propriétés voulues pour la seule raison que le mélange réalisé n'a pas été suffisamment parfait, soit que les différents éléments n'aient pas été amenés à un état de division suffisant, soit qu'ils n'aient pas été mélangés assez intimement.

Les machines et appareils employés pour mélanger les corps peuvent se grouper suivant qu'ils s'appliquent aux mélanges des solides avec les liquides, des liquides entre eux, des liquides avec les gaz ou enfin des gaz entre eux.

MÉLANGEURS POUR CORPS SOLIDES

La plus simple méthode employée pour mélanger des corps solides consiste à les disposer en tas de poids correspondant aux proportions du mélange désiré et à réunir ces différents amas de matières en un seul et même tas au moyen de la pelle, le mélange s'effectuant sur la pente du cône de matières ainsi formé. Cette manipulation est répétée

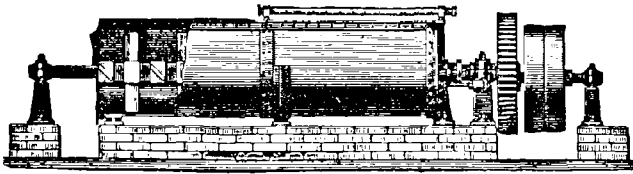


FIG. 150.

jusqu'à obtention d'un mélange suffisamment uniforme. Ce procédé est très coûteux et le plus souvent insuffisant. En outre, l'abondant dégagement de poussières qu'il entraîne est très gênant pour les ouvriers et souvent malsain. Aussi ce procédé ne doit-il être employé qu'occasionnellement, et l'on doit avoir recours à un mélangeur toutes les fois qu'il s'agit d'une opération à faire régulièrement. S'il s'agit de mélanger intimement des matières pulvérulentes et *bien sèches*, on peut les introduire dans un appareil très simple, constitué par un tonneau en chêne mobile sur son axe et mis en rotation soit mécaniquement, soit à la main. Pendant ce mouvement de rotation, les matières sont projetées les unes sur les autres et se mélangent rapidement. Si l'on veut éviter tout dégagement de poussière lors de l'ouverture de l'appareil, il faut avoir soin d'attendre que les fines particules en suspension dans l'air aient eu le temps de se reposer.

Ce mélange s'effectuant sans action mécanique, les grumeaux de matière ne sont pas écrasés, à moins qu'ils ne soient très faciles à désagréger. L'expérience seule permet de déterminer le temps néces-

saire pour obtenir un mélange parfait. Le mélange est proportionnellement plus rapide dans les tonneaux de petites dimensions que dans les grands.

Dans le cas des matières un peu plus difficiles à mélanger et nécessitant une action mécanique, on peut employer un appareil analogue à ceux que l'on emploie pour le transport des produits pulvérulents (*fig. 150*), qui se compose d'un long cylindre dans lequel tourne un axe portant des palettes inclinées sur l'axe de manière à former une

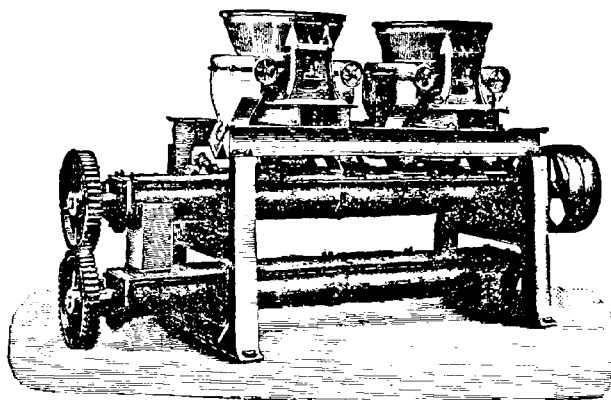


FIG. 151.

hélice non continue. Pendant la rotation, les palettes soulèvent la matière et la mélangent en même temps qu'elles la font lentement progresser d'une extrémité à l'autre de l'appareil. Arrivée à cette extrémité, la matière est mélangée et peut être recueillie.

L'exactitude du mélange obtenu dépend beaucoup de l'attention apportée par l'ouvrier. On a cherché à remédier à cet inconvénient en construisant des appareils effectuant automatiquement le mélange des matières dans des proportions déterminées.

L'appareil imaginé dans ce but par Jochum se compose d'une série de trémies en tôle dans lesquelles on introduit les matières à mélanger. Sous chaque trémie se trouve un plateau tournant qui entraîne continuellement la matière tombant de la trémie et la déverse dans un cylindre contenant une vis d'Archimède, laquelle effectue le mélange et le transport de la matière.

Chaque trémie porte une ouverture réglable qui permet de faire varier l'écoulement des substances et, par suite, leurs proportions respectives constituant le mélange. L'appareil ne dégage aucune poussière, exige peu de force motrice et de main-d'œuvre et produit un mélange très intime (*fig. 151 et 152*).

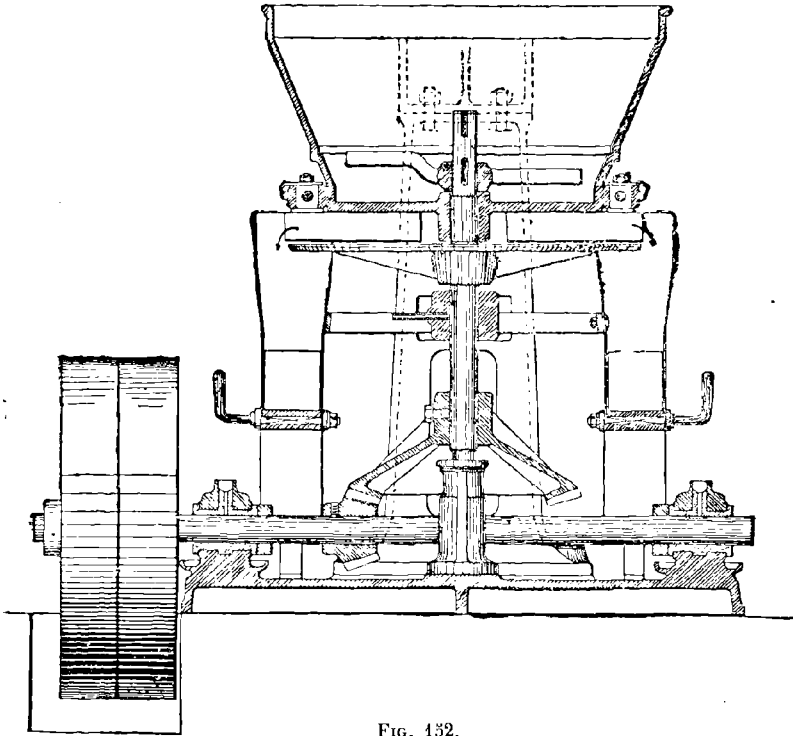


FIG. 152.

La figure 153 représente un mélangeur basé sur le même principe que les désintégrateurs décrits précédemment. Il se compose de deux roues à chevilles tournant rapidement en sens inverse. Les matières à mélanger sont préalablement pesées, puis introduites dans la trémie; elles s'écoulent et sont saisies par les tambours qui les projettent en tous sens et les mélangent.

Les mélangeurs sont à fonctionnement continu ou à marche intermittente. Dans les premiers, les matières à mélanger sont distribuées automatiquement et sans interruption par plusieurs alimenta-

teurs dont on règle le débit suivant les proportions du mélange à obtenir. Ces matières sont mélangées au fur et à mesure de leur arrivée, et le mélange réalisé s'écoule d'une façon continue.

Au contraire, dans les appareils à marche intermittente, les matières sont exactement pesées, puis introduites dans un récipient où elles sont mélangées sous l'action d'une agitation prolongée. Ces derniers

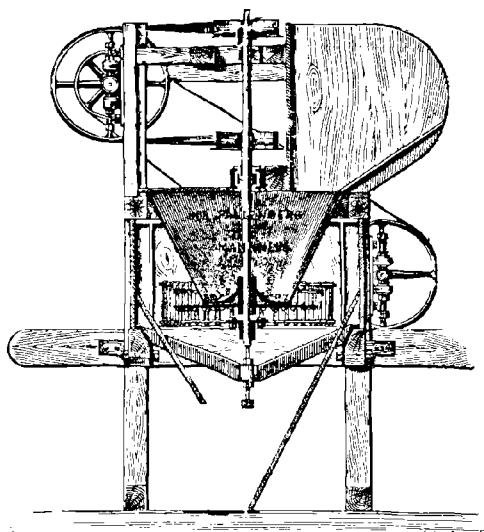


Fig. 153.

appareils sont nettement préférables aux premiers sous le rapport de l'exactitude des proportions et de l'homogénéité du mélange obtenu. Par contre, les appareils continus permettent de traiter une très grande quantité de matière en peu de temps.

Un appareil mélangeur simple et d'un fonctionnement efficace est celui qui consiste en un cylindre mobile sur un axe horizontal, à l'intérieur duquel sont disposées des saillies dirigées suivant

ses génératrices. Lorsque l'appareil tourne sur lui-même, les saillies entraînent les matières dans leur mouvement de rotation et ne les laissent retomber que lorsqu'elles sont arrivées à une certaine hauteur. On obtient ainsi un bon mélange, mais le travail est intermittent. Le même appareil peut travailler d'une façon continue si l'on dispose les saillies en spirales interrompues, de façon à assurer la progression de la matière d'une extrémité à l'autre de l'appareil.

Dans d'autres dispositifs, le cylindre est fixe et le mélange est assuré par un agitateur hélicoïdal tournant à l'intérieur (*fig. 154*). Dans d'autres cas, l'agitateur et le cylindre tournent en sens inverse. Le cylindre peut être pourvu d'une double enveloppe qui sert à refroidir ou à réchauffer les matières pendant que le mélange s'effectue.

Ce dispositif est employé dans la fabrication du violet de méthyle, du vert malachite, etc.

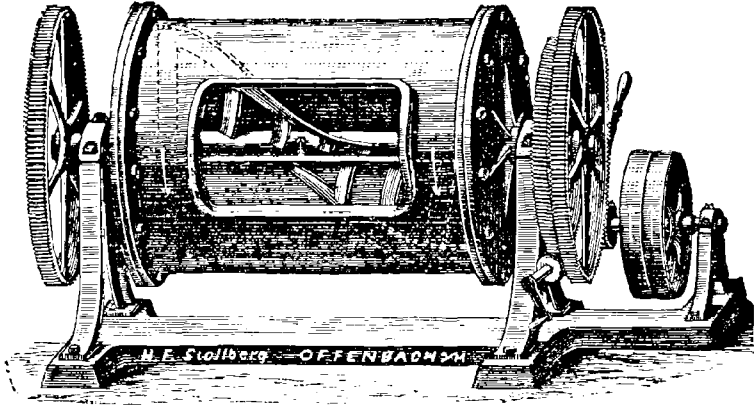


FIG. 151.

Pour vider l'appareil, on enlève la plaque obturant le trou d'homme et fait tourner le cylindre *y* jusqu'à ce que celui-ci soit placé en bas ; on fait alors marcher l'agitateur qui détache la matière et la fait sortir du mélangeur par l'ouverture inférieure.

Le broyage et le mélange peuvent être très souvent réalisés avantageusement en une seule et même opération. Les matières sont introduites en proportions voulues dans un broyeur à boulets, par exemple, qui assure en même temps la pulvérisation et le mélange. On obtient ainsi une matière très finement broyée et très intimement mélangée.

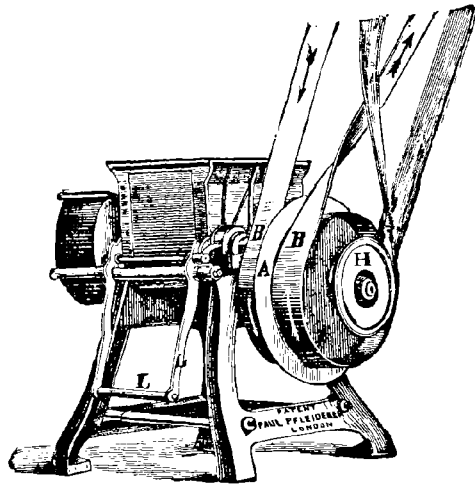


FIG. 155.

Les mélangeurs construits par la maison *Werner et Pfleiderer* sont d'une simplicité remarquable (*fig. 155*). Ils se composent d'une auge

dont le fond présente deux évidements demi-cylindriques ; dans l'axe de chacun d'eux tournent deux palettes de forme spécialement étudiée D et D' (*fig. 156*). La matière à pétrir ou à mélanger est introduite dans la cuve, puis les palettes sont mises en mouvement. Elles épousent exactement le fond de l'auge et tournent à des vitesses différentes et en sens inverse. En outre, on peut changer leur sens de rotation au moyen

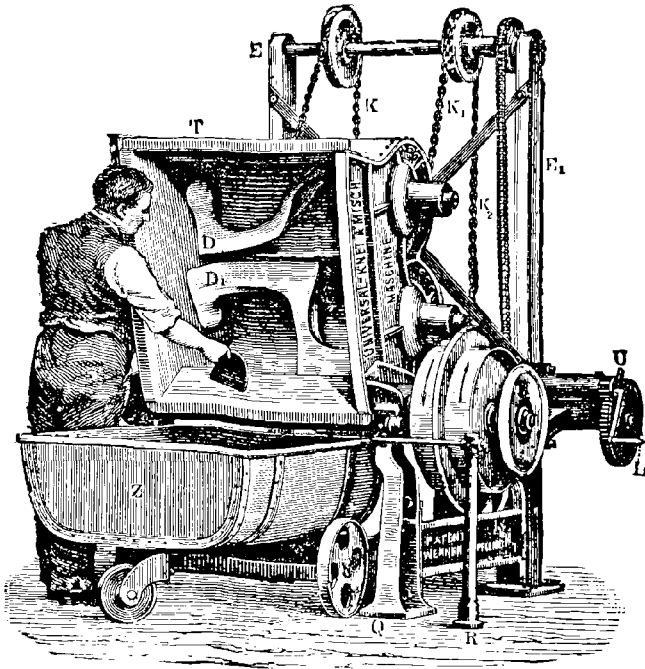


FIG. 156.

d'un dispositif particulièrement ingénieux. Les deux poulies B et B' (*fig. 155*) sont folles et portent, l'une une courroie directe, l'autre une courroie croisée ; elles tournent donc en sens inverse. Un disque A est calé sur l'axe et tourne avec lui ; au moyen du volant H, on peut mettre l'une ou l'autre des deux poulies B en prise avec le disque A et, par suite, avec l'axe. Ceci permet de faire tourner les palettes dans les deux sens et, en outre, de débrayer l'appareil en mettant le volant H dans la position intermédiaire pour laquelle aucune des deux poulies n'est en prise avec A.

Le renversement du sens de rotation est particulièrement avantageux lorsqu'il s'agit de vider l'appareil; la cuve est alors renversée, comme le montre la figure 156.

La matière tombe d'elle-même dans un wagonnet placé au-dessous, *g*. Le renversement est facilité par des contrepoids fixés à des chaînes *K, K'* (*fig. 156*).

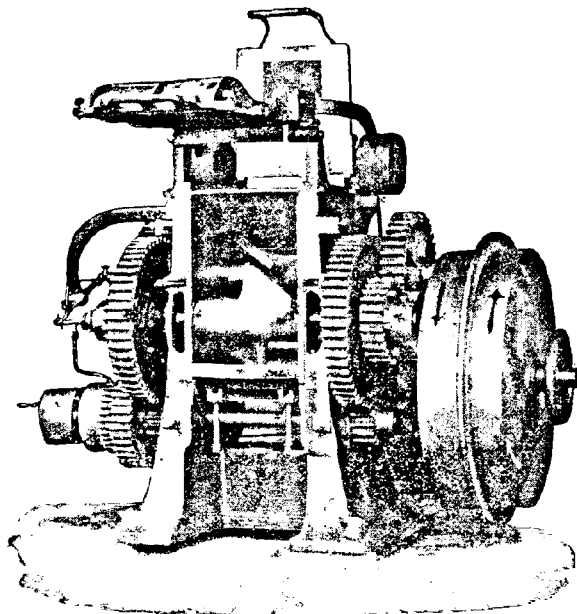


FIG. 157.

Ces mélangeurs s'appliquent non seulement aux substances sèches, mais au pétrissage de matières humides ou pâteuses; ils ont trouvé de très nombreuses applications dans l'industrie des produits chimiques et pharmaceutiques.

La figure 157 représente un appareil particulièrement approprié au travail du caoutchouc et de la gutta-percha.

La cuve et la palette peuvent être chauffées par un courant de vapeur (ou refroidies, s'il est nécessaire). Ce masticateur est employé pour l'incorporation des matières inertes à la gomme de caoutchouc, pour la fabrication du linoléum, de l'ivoire artificiel, l'obtention des dissolutions de caoutchouc, etc., et en général toutes les fois que l'on est en présence d'une pâte épaisse ou très ferme.

Dans certains cas spéciaux, le malaxage peut être fait dans le vide

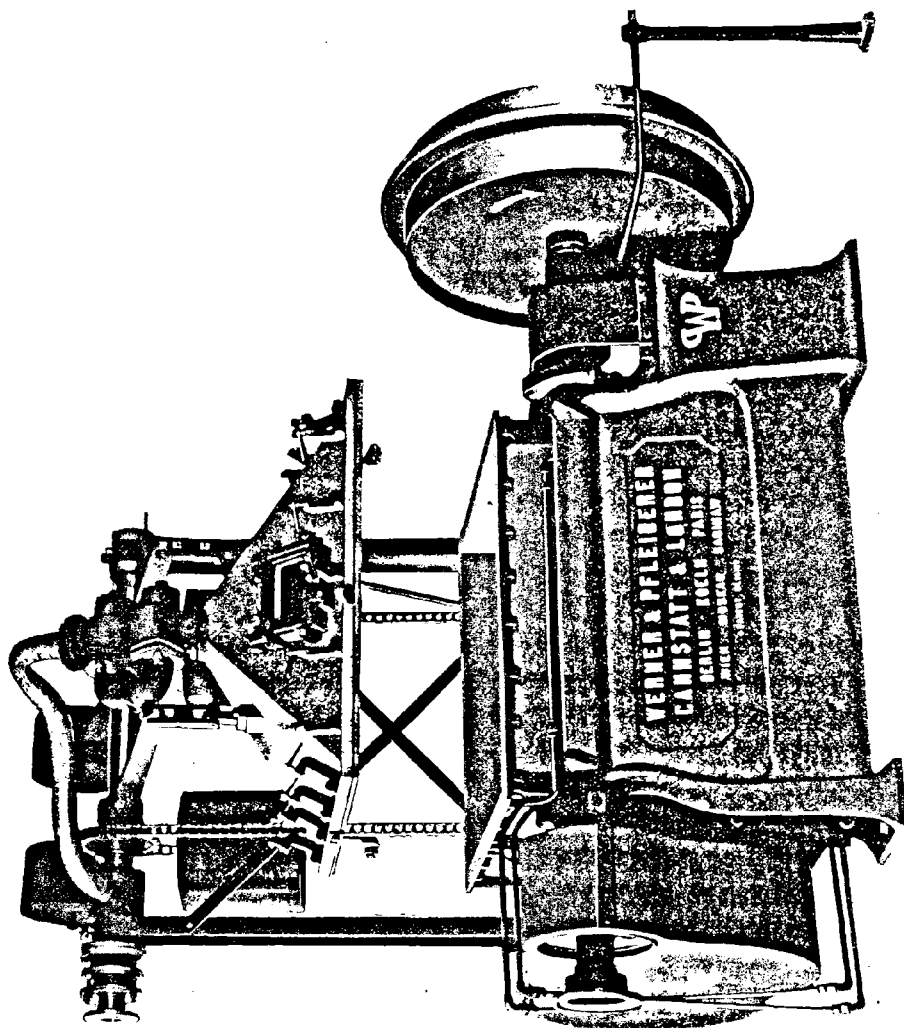


Fig. 158.

en vue d'évaporer un excès de dissolvant volatil; la figure 158 représente un appareil de ce genre dont l'auge peut être chauffée. Enfin, les

palettes peuvent être disposées pour recevoir deux mouvements de rotation de vitesses très différentes. L'opération du malaxage est d'abord commencée avec la faible vitesse pour réaliser l'incorporation des produits. Le pétrissage proprement dit s'obtient en faisant tourner les palettes plus rapidement.

On construit encore des appareils mélangeurs sans agitateurs dans lesquels on utilise la chute de la matière sur elle-même. Les plus simples sont les tonneaux mélangeurs déjà décrits. Cette construction

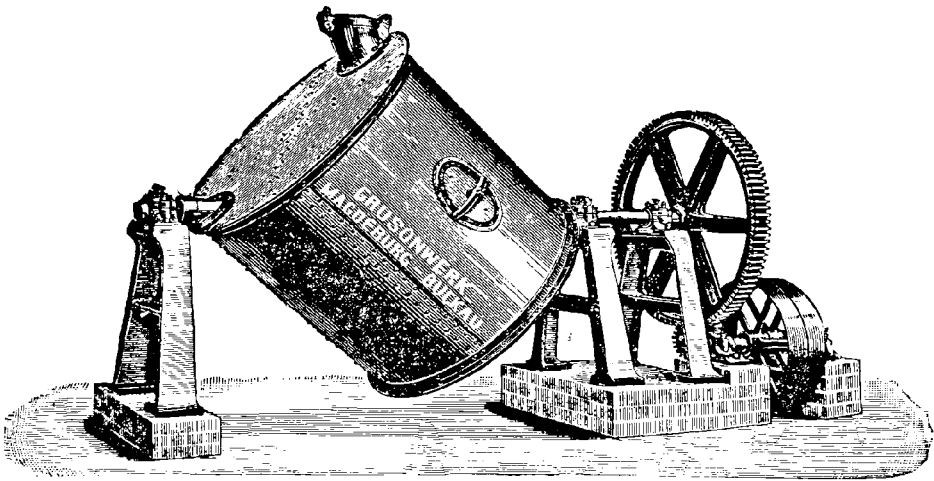


FIG. 159.

(fig. 159) est surtout avantageuse lorsque les substances ne doivent pas être mises en contact avec des parties métalliques. Le cylindre peut être en bois ou en métal intérieurement émaillé; on peut encore le garnir d'un revêtement en porcelaine.

La plupart des mélangeurs qui viennent d'être décrits peuvent également servir au mélange des corps solides avec des liquides. Pour le mélange des solides entre eux on peut également employer avec plus ou moins de succès les moulins à meules, les broyeurs et les désintégrateurs décrits au chapitre m.

MÉLANGE DES SOLIDES ET DES LIQUIDES

Lorsque l'on agite un corps solide avec un liquide, il peut y avoir dissolution ou simplement désagrégation et mise en suspension des particules solides. Les principaux dispositifs propres à obtenir ce résultat seront décrits dans le chapitre suivant. Cependant nous indiquons ici quelques appareils de ce genre.

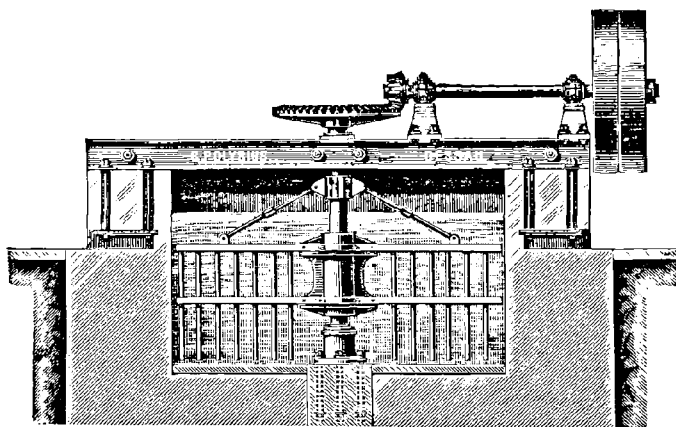


FIG. 160.

La figure 160 représente un appareil du type de ceux que l'on emploie pour le délayage de l'argile et du calcaire dans les fabriques de ciment. Il se compose simplement d'une cuve circulaire en maçonnerie dans laquelle tourne un agitateur commandé par deux pignons d'angle. L'arbre est supporté à sa partie inférieure par une crapaudine et guidé à sa partie supérieure par un coussinet. L'argile est introduite en quantité suffisante dans l'eau de la cuve et en même temps que l'agitateur est mis en marche. Il se forme une bouillie claire que l'on laisse écouler par une ouverture ménagée à sa partie supérieure, tandis que l'eau arrive constamment par le bas de la cuve. On peut encore faire travailler l'appareil d'une façon intermittente et pomper le liquide, tout en maintenant les particules en suspension au moyen

de l'agitateur. Le même appareil peut être entièrement en tôle; dans le cas où il est en maçonnerie, il est bon de garnir l'aire circulaire formant son fond avec des plaques de fonte.

Le mode de construction de l'agitateur est variable, suivant la nature des matières à traiter; c'est ainsi que l'on peut disposer des chaînes qui traînent sur le fond, de manière à désagréger les substances à mettre en suspension.

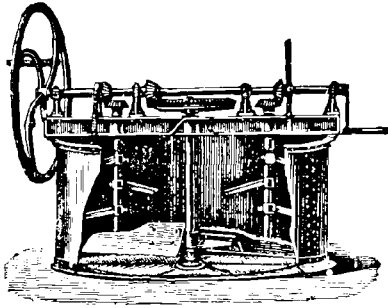


FIG. 161.

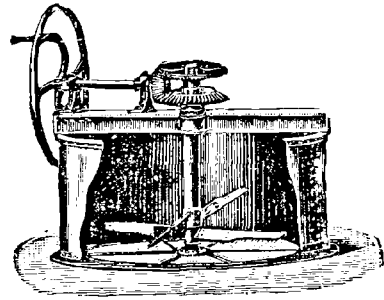


FIG. 162.

Dans d'autres cas, on place plusieurs agitateurs dans une seule et même cuve (*fig.* 161), disposés de manière que l'on puisse à volonté faire tourner un ou deux de ces agitateurs seulement ou tous les trois ensemble. La figure 162 représente une cuve contenant deux agitateurs à palettes superposées et tournant en sens inverse. Si ces appareils sont employés pour la séparation des éléments pulvérulents d'avec les matières plus grosses, il est nécessaire que la surface du liquide reste tranquille malgré l'agitation, afin d'éviter l'entraînement des parties les plus grosses qui s'accumulent dans le fond.

Les appareils employés pour attaquer par les acides les phosphates, la poudre d'os, le noir animal (acide sulfurique, acide chlorhydrique) sont du même genre. Les uns travaillent d'une façon continue; les autres, d'une manière intermittente.

Dans les premiers, la matière broyée est amenée continuellement par une vis sans fin; on règle sa quantité en modifiant la vitesse de rotation de la vis. L'acide nécessaire coule par un robinet à débit constant, et le tout arrive dans un tambour analogue à celui qui est représenté par la figure 154, muni de palettes disposées en hélice sur

un axe horizontal ou légèrement incliné. L'acide est peu à peu incorporé à la masse en même temps que celle-ci progresse lentement d'une extrémité à l'autre de l'appareil. Il est très important que celui-ci soit disposé de façon que l'on puisse évacuer les vapeurs acides qui se dégagent pendant l'opération. Les vapeurs nuisibles ou même dangereuses sont entraînées dans une cheminée ou aspirées par un exhausteur.

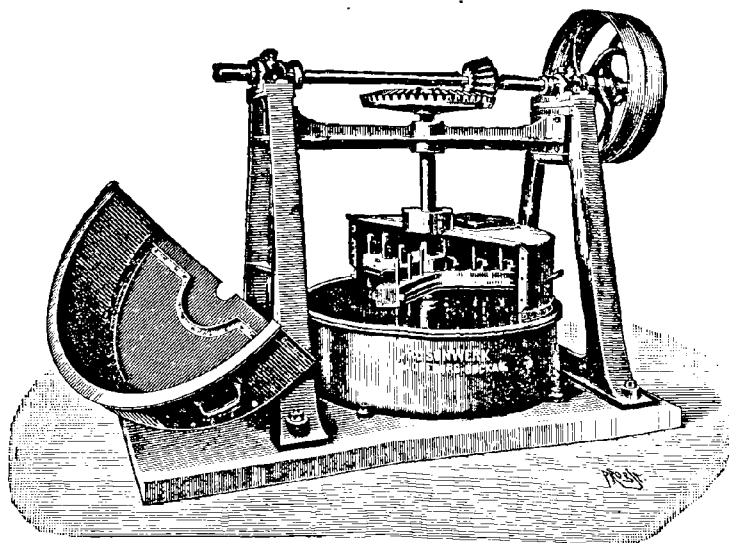


FIG. 163.

La marche continue ne peut être employée que lorsqu'on se trouve en présence de substances possédant une composition constante ; sans cela, le produit obtenu laisse à désirer sous le rapport de son homogénéité. C'est pour cette raison que les appareils intermittents sont généralement préférés par les praticiens.

La figure 163 représente l'un des appareils de ce dernier genre. Il est disposé verticalement et possède un couvercle mobile muni d'ouvertures pour l'introduction de la matière et de l'acide et pour l'évacuation des vapeurs acides. Les matières composant chaque charge sont dosées suivant leur composition.

La maison Werner et Pfleiderer construit un appareil spécial pour

le traitement des phosphates, qui reproduit les principales dispositions de ses mélangeurs déjà décrits. L'auge est en fonte brute, la croûte de fonte étant beaucoup moins attaquée par les acides que la fonte elle-même. Le couvercle est en bois doublé de plomb intérieurement et présente des ouvertures pour l'introduction de la matière et de l'acide, ainsi que pour l'évacuation des vapeurs acides, qui prennent naissance. Pour enlever la matière traitée, il suffit d'ouvrir un registre disposé à la partie inférieure de l'auge. Un appareil d'une contenance de

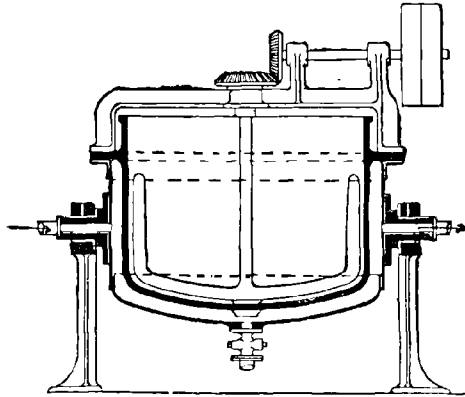


FIG. 161.

1.000 litres permet de traiter aisément 10.000 kilogrammes de phosphates par jour dans de très bonnes conditions.

Lorsqu'il est nécessaire de chauffer ou de refroidir pendant que l'on effectue le traitement de la substance par un acide, le récipient est à doubles parois dans lesquelles on fait circuler de la vapeur ou de l'eau. La figure 164 représente un appareil de ce genre. Le récipient intérieur se construit en fonte qui peut être émaillée intérieurement s'il est nécessaire, et l'enveloppe extérieure en tôle. L'appareil peut être culbuté pour faciliter la vidange et le nettoyage; aussi l'arrivée et le départ de l'eau s'effectuent-ils par les tourillons qui sont creux. Lorsqu'on emploie la vapeur, l'eau de condensation est évacuée par le robinet inférieur relié à un purgeur.

Certaines opérations ne pouvant s'effectuer que dans des appareils entièrement en grès, seule matière pratiquement inattaquable à tous les acides, nous décrirons encore un appareil construit par L. Rohrmann (*fig. 165*).

La cuve en grès T est fermée hermétiquement par un couvercle D percé en son centre d'une ouverture munie d'un large rebord f dans lequel est mastiqué la partie d. L'agitateur en grès F est supporté par plusieurs pièces creuses S assemblées au moyen de boulons en fer b.

La partie *v* est tronconique et tourne dans la partie rodée *d* que l'on graisse abondamment pour réduire le frottement au minimum. La commande s'effectue au moyen d'un cardan *W* que l'on règle de manière à équilibrer autant que possible le poids de l'agitateur

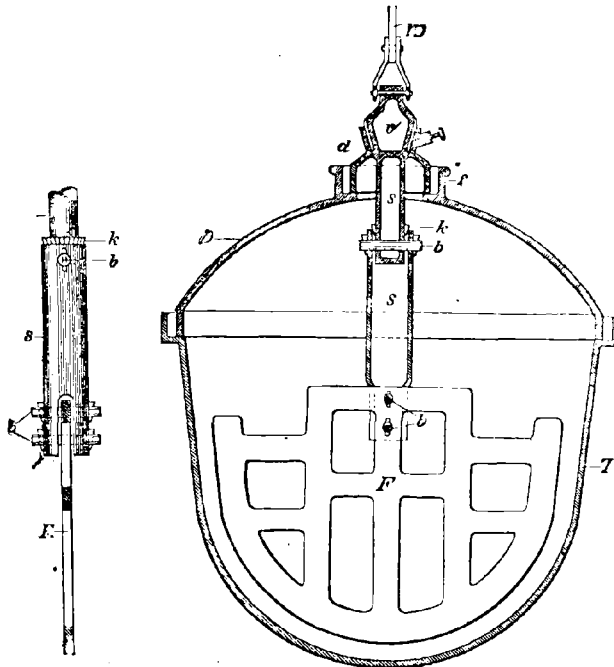


FIG. 163.

et à soulager le couvercle *d*. Enfin, la tête de l'axe *v* est creuse et peut être remplie d'eau pour diminuer encore son échauffement.

MÉLANGE DES LIQUIDES

Le procédé le plus souvent employé pour mélanger plusieurs liquides, ou rendre homogènes les différentes parties d'une grande masse de liquide, consiste à les agiter par injection d'air comprimé ou de va-

peur (*fig. 166*). Les bulles d'air, se dégageant violemment à travers toute l'épaisseur du liquide, le brassent énergiquement. L'air comprimé nécessaire peut être fourni par une pompe à air ou plus simplement par un compresseur d'air à jet de vapeur. Par ce dernier moyen, la compression d'air peut vaincre la pression d'une colonne d'eau de 6 mètres de hauteur. La figure 167 représente le montage d'un compresseur d'air du système Koerting sur un seul bac. La vapeur arrive par la conduite *a*; on la règle par la valve *D*; le compresseur aspire l'air ambiant ou tout autre gaz (acide sulfureux, acide carbonique obtenu par la combustion du coke, etc.) et le refoule à travers la couche du liquide par le tube *R*, perforé de nombreux trous.

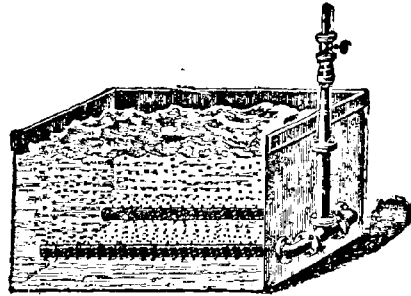


FIG. 166.

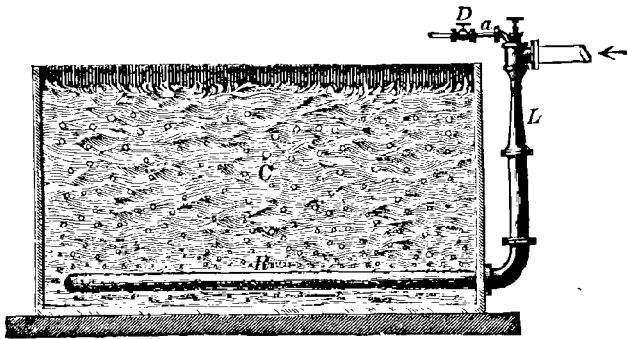


FIG. 167.

Ces appareils sont très simples et peu coûteux; leur fonctionnement est absolument sûr, et ils sont très employés dans l'industrie chimique. Ce procédé est donc très simple et très pratique, mais il entraîne une perte sensible par évaporation et ne doit pas être mis en œuvre, lorsqu'on se trouve en présence de liquides volatils (alcool, etc.).

Si le liquide à mélanger doit être en même temps chauffé, on remplace l'air par la vapeur sous pression. Mais il y a lieu dans ce cas de tenir compte de la dilution qui résulte de la condensation de la vapeur

employée. On a proposé de nombreux dispositifs en vue de remédier au bruit continu et très désagréable que produit la condensation brusque des bulles de vapeur. Ces dispositifs remplissent plus ou moins leur but. Mais il est bon de mentionner tout particulièrement le sys-

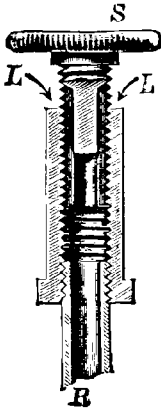


FIG. 168.

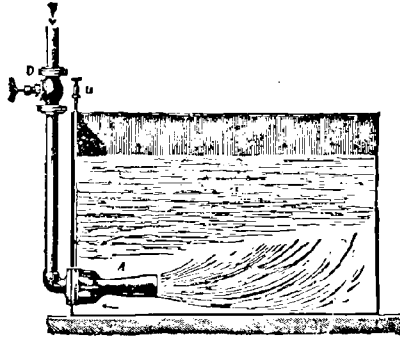


FIG. 169.

tème Thalemann, à la fois efficace et très simple (*fig. 169*), qui consiste à mélanger la vapeur d'une petite quantité d'air atmosphérique. Cet air est introduit à l'endroit même où la vapeur débouche, et sa quantité peut être aisément réglée au moyen d'une vis *S* (*fig. 168*), qui obstrue plus ou moins l'orifice du tube *L* par lequel arrive l'air.

Cet appareil est ordinairement construit en fonte avec un ajutage en bronze, mais il peut être également construit en plomb antimonié ou tout autre métal résistant à l'action des acides ou des alcalis.

MÉLANGE DES LIQUIDES AVEC LES GAZ

L'appareil de la figure 167 peut servir à mettre en contact un gaz avec un liquide ; il suffit pour cela d'envoyer le gaz aux lieu et place de l'air. Ce procédé peut être employé lorsqu'il s'agit de purifier le gaz en

absorbant l'un de ses constituants au moyen d'un réactif approprié ou bien encore d'amener un échange de chaleur entre le gaz et le liquide.

Dans certains cas, et en particulier lorsque le gaz attaque les appareils, il est plus avantageux de l'aspirer à travers le liquide plutôt que de l'y faire barboter sous pression.

L'appareil Roesler (*fig. 170*), construit par la maison Koerting, est basé sur ce principe ; il est particulièrement employé pour l'absorption de l'acide sulfureux dégagé pendant la fabrication de l'outremer et l'affinage des alliages des métaux précieux par l'acide sulfurique.

Il se compose d'une série de réservoirs *G*, que l'on remplit à moitié avec une dissolution concentrée de sulfate de cuivre. La conduite de vapeur *d* amène celle-ci à une série

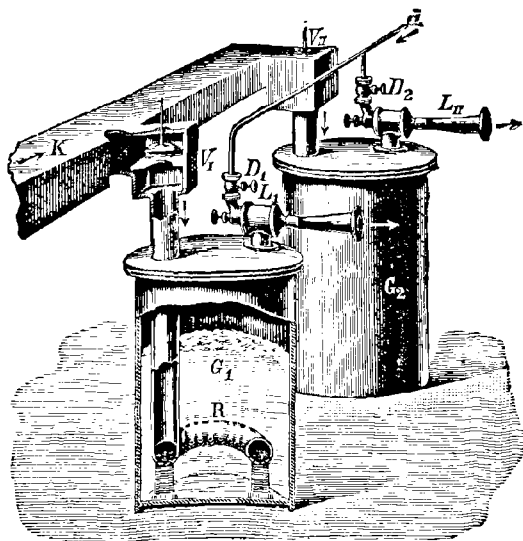


FIG. 170.

d'injecteurs *L* ; lorsque l'on ouvre la valve *D*, la vapeur se dégage à l'air libre et aspire les gaz de la conduite *K* en raison de sa vitesse. Ces gaz barbotent dans le liquide par le tube percé de trous *R* ; l'acide sulfureux est absorbé et transforme peu à peu le cuivre pulvérent en sulfate. Lorsque le cuivre introduit dans le récipient *G* est dissous, on ferme la soupape *V* et la valve *D*, et l'on fait passer les gaz dans le récipient *G*. Pendant ce temps le sulfate de cuivre formé dans le premier appareil cristallise.

Ce procédé permet de retenir complètement tout l'acide sulfurique entraîné par les gaz et d'absorber la plus grande partie du gaz sulfureux en l'utilisant à la production d'un sous-produit de valeur.

Les tours de Glover et les différents modèles de tours à plateaux, à

boules, etc., servent avantageusement à mettre les gaz en contact intime avec les liquides. Elles sont construites en tôle, cuivre, plomb, grès, suivant la nature des produits à traiter.

Ces tours se composent en général d'un cylindre vertical rempli intérieurement de coke, de quartz ou de plateaux perforés en porcelaine ou en grès. Ces matières sont disposées de façon à ménager d'assez larges espaces entre elles.

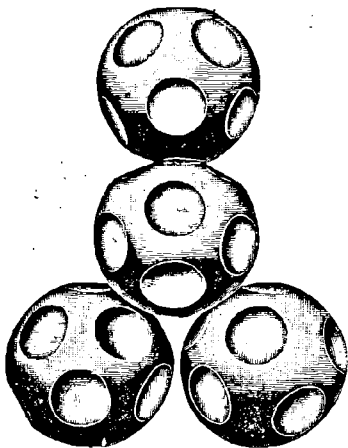


FIG. 171.

Pour garnir ces mêmes tours à réaction Guttman, on emploie des boules pleines en grès de 40 millimètres de diamètre portant 12 cavités lenticulaires, comme le montre la figure ci-contre. Par suite de l'arrangement symétrique de ces cavités, les boules peuvent être placées sans aucun soin spécial dans les tours; elles offrent toujours un passage facile au gaz, tandis que les liquides sont retenus par adhésion sur leur grande surface. On peut les employer même

avec des liquides absorbants chargés de matières solides, tels que le lait de chaux. Si le liquide absorbant ne renferme aucun solide en suspension, on augmente encore les surfaces de contact en se servant de boules semblables, mais creuses à l'intérieur. Les tours à réaction de Guttman garnies de boules creuses remplacent avantageusement les tours à plateaux, car ces dernières ne fournissent de bons résultats qu'à la condition que les plateaux soient tous placés dans une position parfaitement horizontale, résultat qui ne s'obtient que par un montage très soigné.

Le liquide est amené par le haut et distribué régulièrement, de manière qu'il se répande uniformément sur toute la section de la tour; le gaz arrive par le bas avec une vitesse assez faible pour qu'il vienne en contact intime et prolongé avec les particules liquides. Le dispositif employé varie suivant les propriétés particulières du gaz et du liquide à traiter.

Dans d'autres cas, le liquide tombe en cascades successives dans des

réipients disposés dans la tour, et les gaz doivent traverser les différentes couches de liquides pour pouvoir circuler.

Quand il s'agit, au contraire, de mélanger un liquide à un gaz, on envoie le liquide sous pression dans des pulvérisateurs, qui le divisent en particules extrêmement ténues. Ce procédé est employé, par exemple, pour humidifier l'air en vue d'applications spéciales.

MÉLANGE DES GAZ

Le mélange de plusieurs gaz s'effectue simplement en les faisant arriver dans un réservoir commun. Le gaz le plus léger doit être introduit par la partie inférieure et le gaz le plus lourd par la partie supérieure, de manière à utiliser leur différence de densité pour activer le mélange. On agira de même si l'un des gaz est plus chaud que l'autre. Tous les appareils servant au transport des gaz peuvent être employés pour uniformiser un mélange de plusieurs gaz.

CHAPITRE VI

FUSION, DISSOLUTION, LIXIVIATION

Les dispositions adoptées pour fondre les corps se distinguent suivant le mode de chauffage adopté, lequel dépend lui-même de la température qu'il est nécessaire d'obtenir et de la nature du produit à fondre.

Le chauffage peut se faire soit directement, à feu nu, soit au moyen d'un gaz combustible (gaz d'éclairage, gaz de gazogène), soit encore au

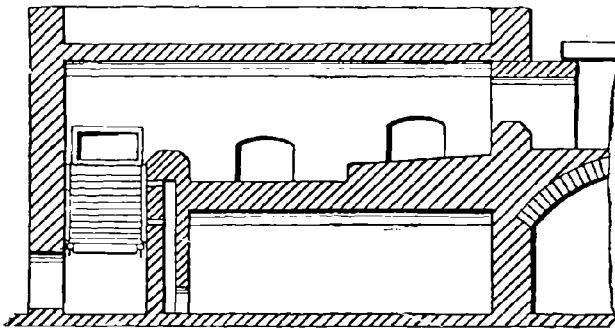


FIG 172.

moyen de la vapeur ou de l'eau surchauffée. Lorsqu'il est nécessaire de combiner l'élévation de température avec la pression, on opère la fusion en vase clos à l'aide d'appareils appelés autoclaves.

Les fours à sole employés autrefois uniquement dans la fabrication du sulfate de soude par le procédé Leblanc sont un exemple de four à chauffage direct (*fig. 172*). Ils comportent ordinairement deux soles, la

plus éloignée du foyer étant plus élevée que l'autre ; ces soles sont recouvertes par une même voûte. Le foyer est disposé à l'une des extrémités ; les gaz de la combustion s'engagent sous la voûte et leur chaleur amène la fusion des matières placées sous la première sole. La deuxième sole sert à réchauffer, au préalable, les matières à fondre ; lorsque la

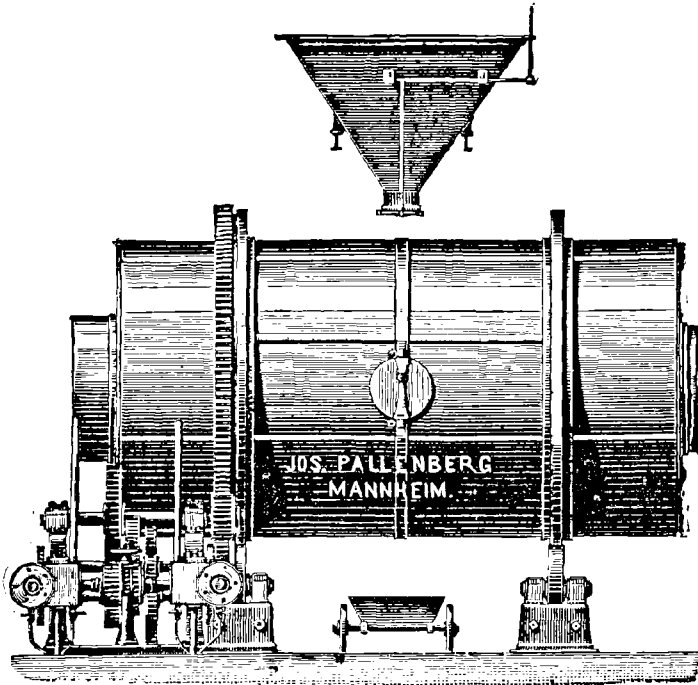


FIG. 173.

réaction désirée est effectuée, on retire les matières fondues et on les remplace par les matières chargées sur la deuxième sole et déjà fortement chauffées. Chacune des soles possède sa porte de travail que l'on n'ouvre qu'au moment d'introduire des matières dans le four ou d'en retirer la masse fondue. Les gaz encore chauds qui sortent du four peuvent être utilisés pour chauffer des bacs à évaporation ou peuvent être envoyés dans des récupérateurs de chaleur en vue de servir au chauffage de l'air nécessaire à la combustion.

La production des fours de ce genre est très limitée ; en outre, ils exigent une main-d'œuvre considérable et occasionnent un travail

pénible. Aussi les a-t-on remplacés dans toutes les grandes industries par des fours tournants à brassage mécanique. Ces fours sont chauffés directement par les produits de la combustion lorsque le combustible est bon marché. Lorsqu'il est cher, on emploie avantageusement le gaz de gazogène.

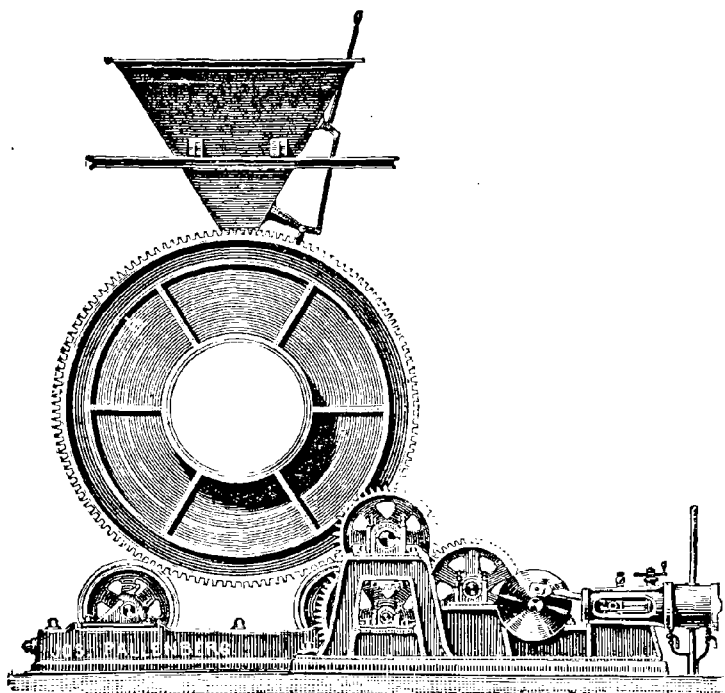


FIG. 174.

Les fours tournants peuvent être à axe vertical où à axe horizontal ; ces derniers ont été construits pour les besoins de l'industrie chimique par analogie avec les fours tournants construits par William Siemens pour l'industrie sidérurgique.

Ces fours appelés *revolvers* (fig. 173 et 174) se composent d'un cylindre en tôle rivée garni intérieurement d'un revêtement en briques réfractaires. Ce revêtement n'est pas lisse ; il comporte des briques faisant saillies, disposées suivant plusieurs génératrices du cylindre constituant le four. Les substances à fondre sont entraînées par ces saillies au moment de la rotation du four, puis arrivées à une certaine hauteur, elles retombent par leur propre

poids ; cette disposition assure le brassage continu de la masse et expose toutes ses parties à l'action des gaz chauds.

Le cylindre en tôle est muni extérieurement d'une couronne dentée qui engrène avec un pignon ; ce mécanisme lui communique un mouvement de rotation sur lui-même ; il est, en outre, guidé par deux paires de galets placées à ses deux extrémités.

La commande s'effectue au moyen d'une machine à vapeur horizontale ou verticale disposée pour que l'on puisse changer le sens de rotation en marche. Ce changement est nécessaire pour assurer le mélange intime des matières à fondre et, en outre, pour régulariser l'usure des différentes parties du revolver. Le chargement du four s'effectue au moyen d'une trémie placée au dessus et dans laquelle on amène les matières au moyen d'une chaîne à godets ou de wagonnets. L'ouverture ménagée dans le cylindre se trouvant au-dessous de la trémie, on laisse tomber le contenu de cette dernière en ouvrant un registre disposé à sa partie inférieure.

Les gaz de combustion nécessaires au chauffage sont produits dans un foyer placé à l'une des extrémités du four ; ils pénètrent dans le revolver du côté opposé à celui qu'occupe la machine à vapeur. Ils ressortent par l'extrémité opposée et, comme ce court trajet ne les a pas considérablement refroidis, ils peuvent être utilisés avantageusement à d'autres usages.

Lorsqu'on emploie des gaz de gazogène pour ce chauffage, on dispose entre l'arrivée de ce gaz et la bouche du four un espace libre que l'on peut augmenter ou diminuer à volonté au moyen d'un cylindre mobile en tôle. Cette disposition est analogue à celle que l'on emploie dans les becs Bunsen ; elle permet de régler à tout moment la quantité d'air atmosphérique nécessaire à la combustion complète du gaz de gazogène.

Les fours à sole tournante (*fig. 175*) ont été d'abord construits en Angleterre ; leur axe de rotation est vertical. Ils se composent d'un grand plateau circulaire en forte tôle garni d'un revêtement en matériaux réfractaires. Ce plateau est supporté par plusieurs roues prenant appui sur un rail circulaire. La sole porte à sa partie inférieure une couronne dentée, qui sert à lui communiquer le mouvement de rotation au moyen d'un pignon denté calé sur un arbre horizontal.

Le bord de la sole est muni d'une rainure circulaire remplie de sable dans laquelle vient plonger une couronne également circulaire fixée à la partie fixe du four. Cet ensemble constitue un joint hermétique. Par ce dispositif on évite toute arrivée d'air par ce joint.

Le brassage des matières placées sur la sole s'effectue soit à la main, au moyen de râbles, soit mécaniquement à l'aide d'un agitateur fixé dans la maçonnerie du four et aussi bien protégé que possible contre l'action des gaz chauds.

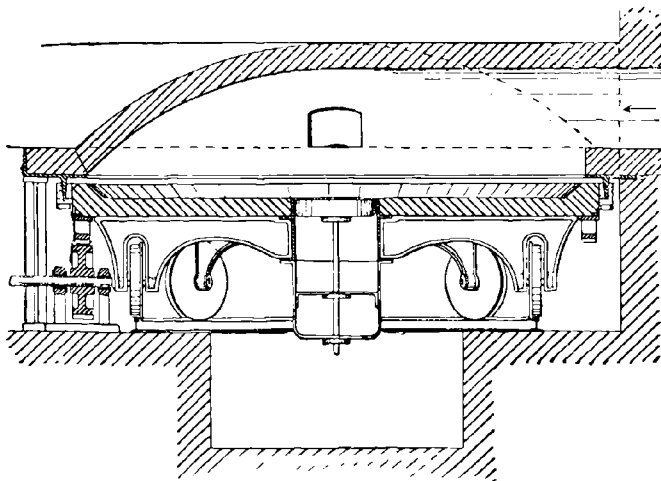


FIG. 173.

Le chargement du four s'effectue par une ouverture ménagée dans la voûte. Les matières introduites sont également réparties sur la sole à la main par la porte de travail ou encore au moyen de l'agitateur mécanique.

Il en est de même pour le déchargement que l'on effectue par une ouverture ménagée au centre de la sole, ouverture que l'on peut fermer au moyen d'un disque en matières réfractaires introduit par le bas.

Le chauffage peut être réalisé par les mêmes moyens que pour les revolvers; la maçonnerie du foyer et celle du four forment un seul et même massif; dans le cas où l'on emploie des gaz de gazogène, les arrivées d'air sont ménagées dans le rebord de la sole formant joint au sable. Le départ des produits de la combustion a lieu par une ou deux ouvertures; ceux-ci peuvent être utilisés ultérieurement.

Lorsque les substances à fondre ne doivent pas être mises en contact avec les produits de la combustion, on effectue le chauffage par la vapeur ou l'eau surchauffées. Celles-ci peuvent être amenées dans une double enveloppe, comme c'est le cas pour les appareils à évaporation ou à distillation. Cette double enveloppe peut encore servir à introduire une matière destinée à répartir uniformément la chaleur (eau, huile, alliage fusible, sable, métaux pulvérulents, etc.). Dans ce cas, le chauffage s'effectue à feu nu.

On peut encore placer dans le récipient un serpentín dans lequel on fait circuler la vapeur ou l'eau chaude. Ce dispositif fournit un meilleur rendement calorifique que les autres, mais le serpentín est parfois très gênant lorsqu'il s'agit d'enlever le produit fondu.

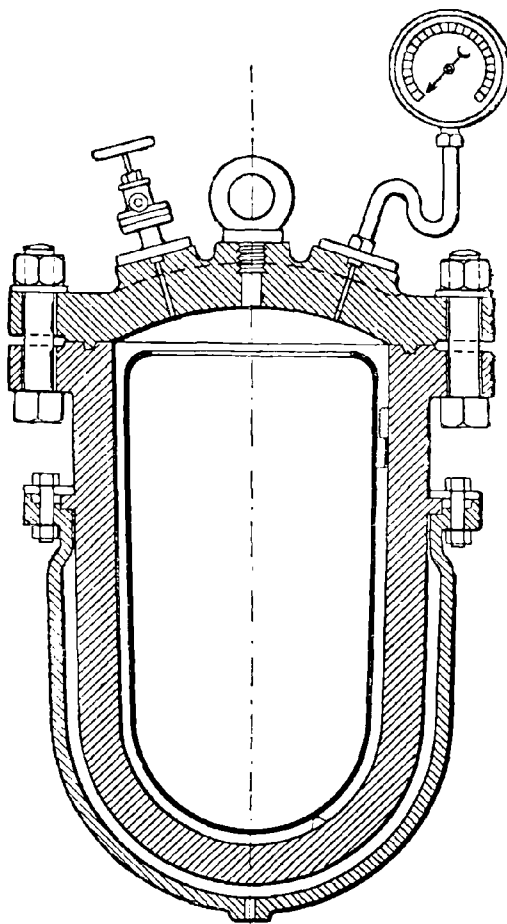


FIG. 176.

Les appareils de ce genre affectent les formes les plus variées : ils peuvent être cylindriques, sphériques, ovoïdes, etc. Ils sont surtout employés pour le traitement des produits organiques. Dans le cas particulier où il est nécessaire de chauffer un liquide à une température supérieure à son point d'ébullition, on opère sous pression au moyen

d'appareils construits spécialement dans ce but et appelés autoclaves. Les autoclaves sont des récipients cylindriques ou sphériques construits de façon à pouvoir résister à une pression intérieure très élevée. Ils sont généralement munis d'un couvercle amovible qui sert au

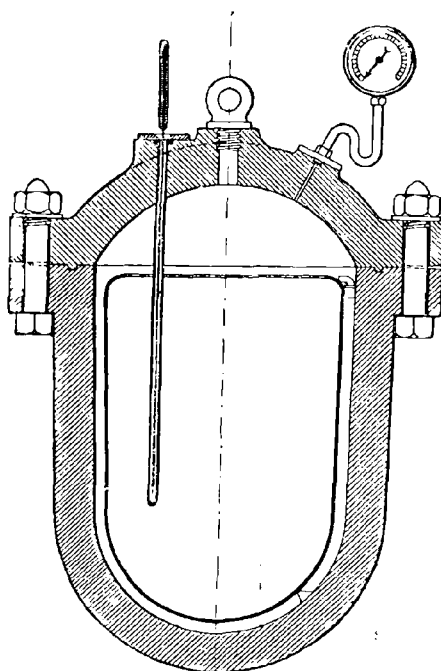


FIG. 177.

nettoyage et à l'examen de leurs parois internes. En outre, ils comportent une ouverture de remplissage, une soupape de sûreté, une valve pour le dégagement des produits de la réaction, un manomètre et un tube permettant l'introduction d'un thermomètre.

Le chauffage peut s'effectuer soit à feu nu, soit au moyen d'un bain d'huile, de sable, d'alliage fusible, soit encore à l'aide d'une double enveloppe de vapeur.

Le couvercle plus ou moins bombé, représenté par les figures 176 et 177, peut être remplacé par un couvercle de forme conique (fig. 178), qui se termine par une ouverture cylindrique que l'on obture à l'aide d'une plaque fixée par des boulons. On pourrait réaliser cette même disposition sur un couvercle sphérique; mais, lors de la coulée, le brusque changement de section occasionnerait souvent la présence de parties poreuses dans la fonte. La forme conique évite sûrement cet inconvénient.

Il est fréquemment nécessaire d'employer un autoclave muni d'un agitateur mécanique. Cet agitateur ne peut être aisément monté sur le couvercle de l'autoclave, surtout pour les appareils de dimensions réduites dans lesquels l'espace disponible est très restreint et déjà encombré par les nombreux appareils accessoires. On est alors obligé

d'avoir recours à un mode de construction spécial. La figure 179 représente un autoclave de 370 millimètres de diamètre, muni d'un agitateur mécanique et d'une double enveloppe pour chauffage par la vapeur.

Les autoclaves sont généralement construits en fonte; lorsque ce métal ne peut résister à l'attaque des produits à traiter, on les garnit intérieurement d'une chemise en

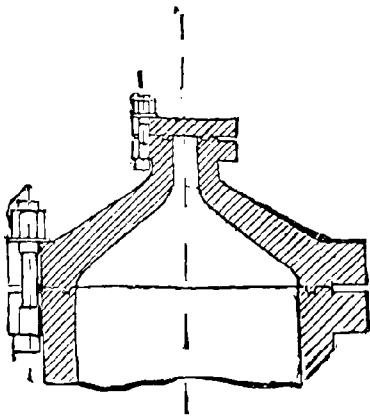


FIG. 178.

plomb. On peut encore y disposer un récipient amovible en tôle émaillée, en cuivre, en porcelaine, etc., qui en épouse la forme intérieure; ce récipient peut être très mince, car il n'a aucune différence de pression à supporter.

Les autoclaves se construisent dans les dimensions les plus diverses; leur exécution doit toujours être très soignée, de façon qu'ils puissent résister aux hautes pressions qu'ils doivent supporter. La fonte employée pour leur fabrication est coulée dans des conditions spéciales assurant l'obtention de pièces parfaitement homogènes, sans soufflures ni parties poreuses.

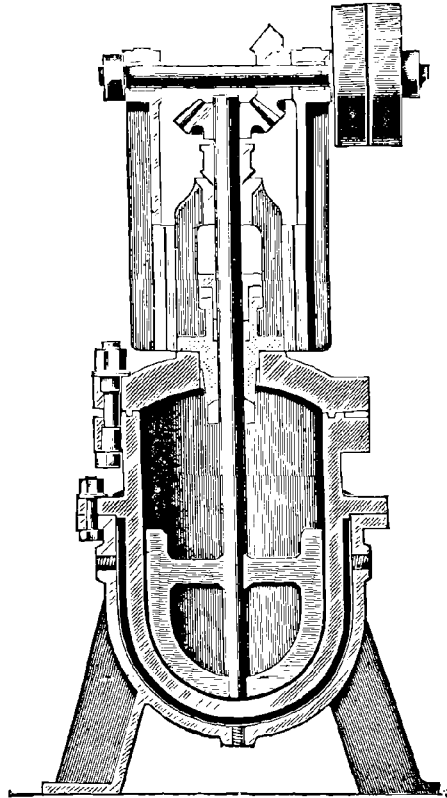


FIG. 179.

Les boulons et les écrous doivent être en fer très doux ; pour les appareils de grandes dimensions, leurs pas de vis sont à filets carrés. Dans tous les cas, les autoclaves sont soumis à une épreuve de pression à 100 ou 200 atmosphères, suivant la pression qu'ils doivent supporter au cours de leur emploi.

Ces appareils sont particulièrement employés pour la fabrication des matières colorantes artificielles, la saponification des graisses en vue d'obtenir l'acide stéarique, etc.

CALCINATION

La calcination a généralement pour but de débarrasser un produit de certains constituants : eau, matières organiques, etc. Elle constitue à proprement parler un mode de séparation des corps ; cependant, comme elle met en œuvre des procédés entièrement comparables à ceux que l'on emploie pour la fusion, cette question sera traitée dans ce même chapitre.

La calcination peut être effectuée dans des fours à sole comme celui qui a été décrit figure 172. On peut encore se servir de fours verticaux dans lesquels on dispose la matière par couches horizontales alternant avec des couches de combustible. On introduit la matière par la partie supérieure du four et retire le produit calciné par le bas. Les fours à chaux sont un exemple de cette façon de faire.

Le carbonate de soude peut être calciné d'une manière économique et très satisfaisante en le plaçant dans des vases en fonte analogues à des cornues, chauffés par les gaz de combustion des fours à soude.

La figure 180 représente un four Siemens disposé pour réaliser simultanément la concentration de solutions salines et la calcination du produit humide obtenu ; ce four est particulièrement adapté à la fabrication du bicarbonate de soude.

La matière à calciner est placée sur la sole C ; elle est également répartie et brassée au moyen des portes de travail a^1 , a^2 . Les gaz combustibles arrivent par le conduit g ; l'air nécessaire, par le canal l . La

combustion s'effectue dans la chambre R, et les flammes pénètrent dans le four proprement dit par le carneau *f*. Elles circulent sous la voûte et l'échauffent fortement; finalement les gaz chauds s'échappent par la cheminée. Au-dessus de la voûte G, on peut disposer une chaudière à évaporation, A, qui est chauffée par la chaleur rayonnante. En

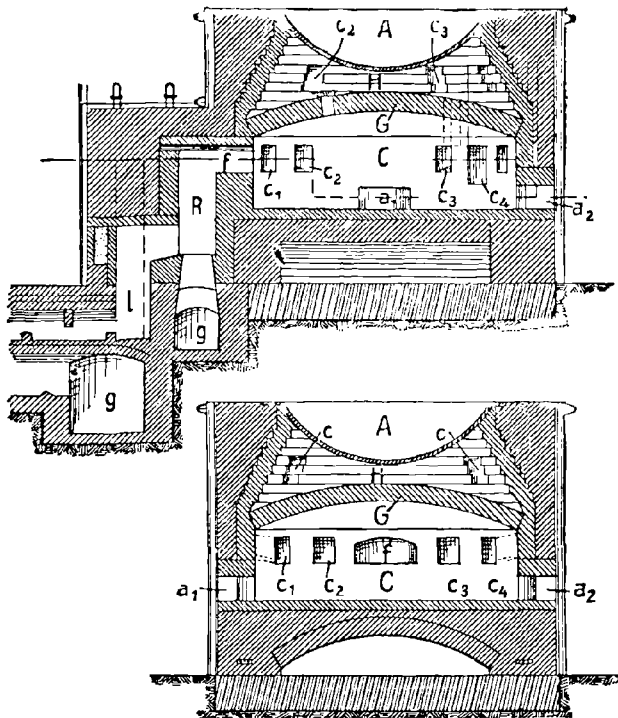


FIG. 180.

outre, une série de canaux c_1, c_2, c_3 facilitent l'échange de chaleur entre la chaudière et la calcine. De plus, on a ménagé plusieurs ouvertures dans la voûte G, ouvertures que l'on peut obturer ainsi que les canaux c_1, c_2 , au moyen de blocs en terre réfractaire. On a ainsi le moyen de régler l'évaporation de la solution sur la production du four. Le bicarbonate est extrait encore humide de la chaudière A, et chargé dans le four par les portes de travail.

La chaleur entraînée par les produits de la combustion est utilisée

à chauffer l'air nécessaire, ce qui augmente la température de la flamme et, par suite, la quantité de chaleur rayonnante.

La circulation des gaz chauds au-dessus de la chaudière assure la régularité du chauffage et évite les surchauffes locales. La chaudière est ainsi préservée d'une destruction rapide.

Ce mode de construction des fours utilise la chaleur d'une manière très satisfaisante et présente des avantages considérables.

DISSOLUTION ET LIXIVIATION

Le produit obtenu par fusion est fréquemment un mélange de plusieurs corps qu'il est nécessaire de séparer par un traitement ultérieur. Ce traitement est très variable suivant les propriétés de la masse fondue. Lorsqu'elle est entièrement soluble, on la traite par un liquide jusqu'à dissolution complète. On applique à cette dissolution les procédés de séparation décrits au chapitre VII.

Si, au contraire, elle n'est pas entièrement soluble, on la traite par l'eau ou tout autre dissolvant approprié, de manière à dissoudre toutes les parties solubles.

L'eau froide ne produit généralement pas le résultat désiré; elle transforme la masse en matière pâteuse sans dissoudre la totalité des substances solubles.

Le plus souvent il est nécessaire d'avoir recours soit à l'eau chaude, soit à la vapeur. Ce traitement peut s'effectuer à l'air libre ou en vase clos suivant la température nécessaire et les propriétés des vapeurs émises.

Il est toujours avantageux d'utiliser une solution diluée du corps à obtenir pour effectuer la solution et de l'enrichir progressivement. On réalise ainsi une diminution considérable du volume de liquide à évaporer ultérieurement et, par suite, une économie importante.

La dissolution est très souvent accélérée par l'agitation continue du liquide. Cette agitation peut être faite à la main ou au moyen d'agitateurs mécaniques. Ces derniers sont de formes extrêmement

variées; les agitateurs tournant autour d'un axe vertical sont nettement préférables aux agitateurs horizontaux. Le démontage est beaucoup plus aisé, et l'usure des palettes et des presse-étoupes moins rapide.

En outre, les agitateurs verticaux ne nécessitent qu'un presse-étoupe placé à la partie supérieure; celui-ci peut être remplacé par un coussinet toutes les fois que l'appareil n'a pas besoin d'être hermétique. A la partie inférieure, l'axe s'appuie sur une crapaudine dont le remplacement est très aisé et peu coûteux.

Les résidus résistant à la dissolution sont séparés du liquide par filtration au filtre-pressé, par le vide ou encore par essorage à la turbine. Ils renferment souvent, même après cette opération, une proportion de constituants solubles suffisante pour qu'il soit nécessaire ou avantageux de les soumettre à un lavage. Cette opération peut s'effectuer pendant que la matière se trouve dans l'essoreuse ou le filtre-pressé.

Si le résidu insoluble est seul à présenter un intérêt, les eaux de lavage obtenues pendant les différentes phases de l'opération sont mélangées. Dans le cas où la dissolution doit être traitée ultérieurement, on les recueille séparément et ne mélange que celles qui possèdent la même richesse en corps dissous. Les dissolutions riches sont traitées directement, tandis que les dissolutions faibles sont enrichies en servant à une nouvelle lixiviation.

Le choix judicieux des dispositifs de lavage ou de lixiviation présente une très grande importance et peut mettre en question toute l'économie d'un procédé.

Les matériaux employés sont choisis suivant les propriétés des dissolutions, de même que le mode de construction adopté. Aussi n'est-il pas possible de fixer une règle à ce sujet.

CHAPITRE VII

CONCENTRATION

La lixiviation dont il vient d'être question dans le chapitre précédent fournit généralement des solutions trop diluées pour pouvoir être utilisées telles qu'elles sont. Il est nécessaire de les débarrasser d'une partie du dissolvant, en les soumettant à la concentration.

Le choix des appareils à employer pour réaliser leur concentration exige la plus grande attention ; la dépense de première installation et celle d'entretien varient énormément suivant le dispositif adopté. En outre, la quantité de charbon nécessaire pour évaporer un poids d'eau donné est extrêmement variable. Il est impossible de déterminer la solution la plus avantageuse sans connaître parfaitement les conditions particulières de l'opération : prix du charbon, de la main-d'œuvre, quantité d'eau à évaporer, frais de première installation, etc. Ce n'est que par l'étude comparative des différents procédés applicables à chaque cas particulier que l'on peut arriver à déterminer avec certitude la meilleure solution à adopter.

ÉVAPORATION A L'AIR LIBRE

L'évaporation à l'air libre est employée pour concentrer économiquement des solutions très diluées qu'on ne pourrait traiter économiquement par aucun autre procédé. Nous ne ferons que citer la con-

centration de l'eau de mer dans les marais salants en vue d'obtenir le sel marin.

Le procédé de graduation est un peu plus rapide. Les bâtiments de graduation se composent de longs échafaudages en bois assez hauts et étroits garnis de fagots de brindilles de bois. La dissolution de sels à concentrer est amenée par la partie supérieure et coule en minces filets en se répartissant aussi régulièrement que possible sur toute la masse des fagots. Elle présente une surface très considérable à l'air, ce qui active considérablement l'évaporation. La dissolution s'enrichit de 4 à 6 0/0 de sel par chaque passage, et l'opération est répétée trois ou quatre fois, jusqu'à obtention d'une solution assez concentrée pour pouvoir être évaporée économiquement par la chaleur. Les solutions abandonnent à la surface des brindilles les matières solides qu'elles tenaient en suspension, et l'on se trouve avoir réalisé à la fois leur concentration et leur filtration. Les bâtiments de graduation doivent être installés de façon telle que leur plus grande face soit exposée au vent dominant de la région. Ils exigent un emplacement considérable et leur efficacité varie beaucoup avec la température ambiante. Aussi ce dispositif est-il à peu près abandonné, sauf dans quelques stations thermales où les malades viennent respirer l'air chargé de sel.

Ce moyen n'est plus guère employé aujourd'hui que pour refroidir l'eau ayant servi à la concentration de la vapeur à sa sortie des cylindres de machines.

L'évaporation des solutions avec l'aide de la chaleur dégagée par un combustible peut se faire à feu nu, à la vapeur ou au bain de sable.

ÉVAPORATION A FEU NU

On peut utiliser la chaleur entraînée par les gaz d'un foyer, en disposant sur leur parcours les chaudières à évaporation de telle façon qu'ils en baignent les parois avant de se rendre à la cheminée. Il est nécessaire de s'assurer préalablement que la température de ces gaz et leur quantité sont suffisantes pour évaporer journallement le poids de liquide désiré.

Le chauffage à feu direct n'est avantageux que lorsque l'évaporation ne s'effectue qu'à une température élevée, ou lorsque le résidu de l'évaporation doit être fondu. Comme exemples de ce cas, nous citerons la concentration de l'acide sulfurique et la fabrication de la soude

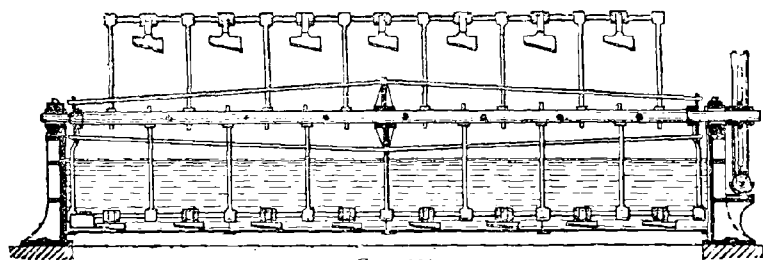


FIG. 181.

caustique. La combustion des gaz de gazogène peut, dans ces cas encore, se substituer avantageusement à celle du combustible solide.

Le plus souvent, on combine l'utilisation du chauffage direct et de la chaleur entraînée par les gaz. Ces derniers servent à réaliser une concentration préalable du liquide dilué. Lorsque sa richesse est devenue suffisante, on termine l'évaporation à feu nu. Les différents récipients servant à l'évaporation sont de forme plate, de manière à présenter à la fois une grande surface de chauffe et d'évaporation. On

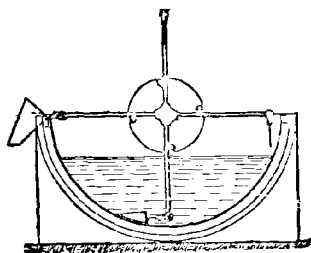


FIG. 182.

les construit généralement en tôle, et on les dispose en cascade pour faciliter le passage successif du liquide de l'un dans l'autre.

Lorsqu'il se dépose des cristaux pendant la concentration, on doit veiller à ce qu'ils soient enlevés au fur et à mesure de leur formation. Sans cette précaution, la couche qu'ils forment étant mauvaise conductrice de la chaleur ralentit considérablement l'évaporation. En outre, il peut y avoir surchauffe du fond de l'appareil, ce qui entraîne sa déformation.

Le pêchage automatique des cristaux est avantageux toutes les fois qu'il s'agit d'un travail continu. L'appareil Thelen (*fig. 181 et 182*) est un récipient demi-cylindrique en tôle dont toute la périphérie est expo-

sée aux gaz chauds. Les deux extrémités sont en fonte et supportent un arbre en fer forgé, disposé suivant l'axe du demi-cylindre constituant l'appareil. Cet arbre porte des bras à l'extrémité desquels sont articulés une râcle ou une pelle mobile. Les râcles rassemblent les cristaux à l'une des extrémités de la chaudière, et les pelles les rassemblent, les élèvent hors du liquide et les laissent automatiquement tomber sur un plan incliné en tôle perforée où ils s'égouttent. L'appareil peut également être disposé pour que les râcles rassemblent les cristaux au milieu de sa longueur; dans ce cas, les pelles sont placées en

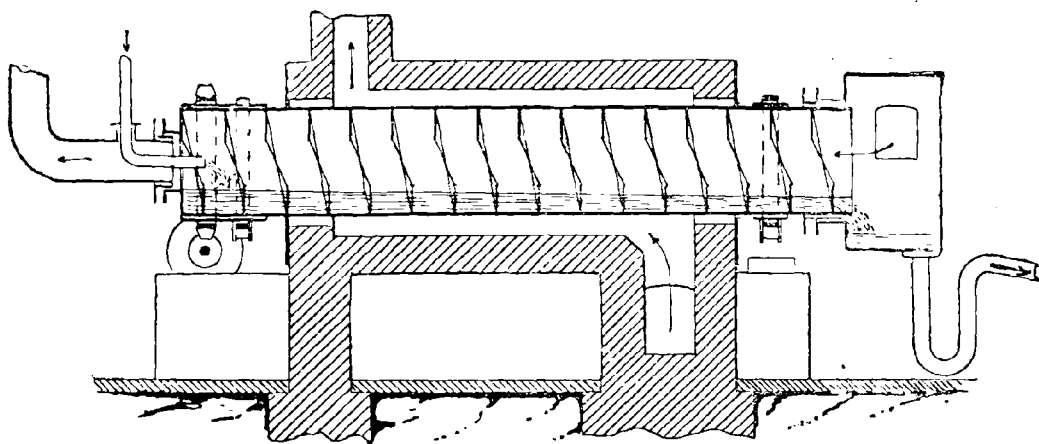


FIG. 183.

ce point. L'appareil est mû par l'intermédiaire d'une poulie et d'un engrenage. Il est bon de débarrasser les bras mobiles des cristaux qui s'y déposent, afin d'éviter qu'ils ne les surchargent inutilement.

L'enlèvement des cristaux formés peut s'effectuer à la main au moyen de poches percées de trous de forme plus ou moins profonde adaptées à l'extrémité d'un long manche en bois.

La concentration d'une dissolution peut être réalisée d'une manière continue au moyen de l'appareil de la figure 183, dans lequel les gaz chauds et le liquide circulent en sens inverse.

L'appareil se compose d'un long cylindre horizontal tournant lentement sur son axe, dans lequel est disposée une surface hélicoïdale dont le diamètre intérieur est la moitié ou le tiers du cylindre. L'écoulement du liquide concentré est libre, tandis que, du côté de l'arrivée

du liquide dilué, le cylindre porte un fond percé d'un orifice dont le diamètre est égal au diamètre intérieur de la surface hélicoïdale.

Le liquide à concentrer arrive par un tube disposé suivant l'axe du cylindre, et la vapeur échappe par la même extrémité soit librement, soit par un large tuyau possédant le diamètre de l'orifice percé dans le fond. Cette vapeur peut être ultérieurement utilisée ou envoyée dans une cheminée si elle est gênante ou nuisible. Dans ce dernier cas, l'écoulement du liquide concentré a lieu dans un récipient clos, d'où il s'écoule périodiquement par un siphon.

Le cylindre peut être chauffé extérieurement et, dans ce cas, il est disposé dans un massif de maçonnerie. On peut encore le faire traverser par un courant de gaz chauds. Dans ce dernier cas, la maçonnerie devient inutile.

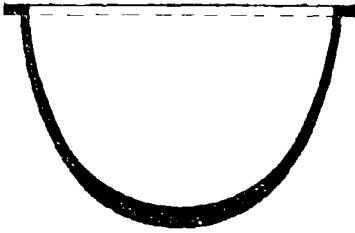


FIG. 184.

Le mouvement de rotation du cylindre sur lui-même s'obtient au moyen d'un pignon et d'une couronne dentée; le pignon peut être remplacé

par une vis sans fin moins encombrante; l'ensemble tourne sur plusieurs paires de galets.

L'appareil assure une évaporation très active, car les parois intérieures sont constamment baignées par le liquide, et les surfaces chauffées par les gaz du foyer sont continuellement renouvelées. La surface hélicoïdale divise l'appareil en un nombre considérable de chaudières d'évaporation en même temps qu'elle assure la circulation continue du liquide et de la vapeur. On peut régler la quantité de liquide évaporé et, par suite, le degré de concentration atteint en modifiant la vitesse de rotation du cylindre, de manière à régler le temps que met le liquide à circuler de l'une à l'autre de ses extrémités en suivant le trajet en hélice qui lui est imposé.

L'appareil peut se construire en tôle, en cuivre ou en tôle revêtue de plomb, ce qui lui assure de nombreuses applications.

Les appareils à concentration chauffés à feu nu sont le plus souvent fabriqués en tôle, en fonte ou en cuivre. Dans quelques cas, on a recours aux métaux précieux : argent, platine. Leurs formes et leurs

dimensions sont tellement variables qu'il n'est pas possible de donner de règles générales à ce sujet.

La résistance de la fonte à l'attaque des agents chimiques varie avec sa composition et la façon dont la coulée a été faite. Dans quelques usines, on a l'habitude de rechercher la présence des défauts dans les récipients en fonte en les frappant à l'intérieur au moyen d'un marteau pointu. On découvre ainsi les soufflures et les parties poreuses, et le récipient peut être refusé avant d'être mis en service ; mais il est à remarquer que cette manière de faire a pour résultat de faire disparaître la croûte de la fonte, partie qui résiste beaucoup mieux que les parties internes à l'action des acides ou des alcalis. Nous sommes d'avis qu'il ne faut pas soumettre les récipients en fonte à ce traitement, car leur prix est nécessairement plus élevé lorsqu'on exige qu'ils résistent à cette épreuve et, en outre, la présence de quelques soufflures n'exerce pas d'influence bien nette sur la durée de leurs services.

Lorsque l'évaporation a pour cause une ébullition vive, les vapeurs entraînent nécessairement de nombreuses particules liquides, et il en résulte une perte de substance dissoute. Il est nécessaire d'éviter cette perte toutes les fois qu'elle est par trop considérable ou que les vapeurs sont susceptibles d'exercer une action délétère sur la santé des ouvriers. Dans ce cas, l'évaporation doit être faite en vase clos de manière à permettre de recueillir les vapeurs et de les condenser. Le liquide résultant de cette condensation est recueilli pour rentrer en fabrication ou envoyé directement à l'égout.

Il en est ainsi dans le cas de la concentration de l'acide sulfurique. L'acide dilué est d'abord concentré dans des chaudières ouvertes à l'air libre, car les vapeurs qui s'en dégagent ne sont pas assez acides pour être nuisibles. Mais elles le deviennent de plus en plus à mesure que la concentration augmente ; aussi les appareils à concentration ultérieure sont clos et la vapeur est recueillie et condensée.

Le liquide condensé rentre en fabrication ; sa densité fournit le moyen de contrôler le fonctionnement des appareils à concentration, lequel ne peut être vérifié directement, puisque ces appareils sont clos. Lorsque la réfrigération de la partie supérieure est insuffisante, la vapeur d'eau entraîne une plus grande quantité d'acide que lorsqu'elle s'effectue normalement. On règle donc la circulation de l'eau

dans le réfrigérant, de manière à ce que la quantité d'acide entraînée reste dans des proportions déterminées par l'expérience.

ÉVAPORATION AU BAIN DE SABLE, AU BAIN D'HUILE, ETC.

Lorsque le liquide à évaporer est inflammable ou que ses propriétés chimiques ne permettent d'employer que des vases en grès pour sa concentration, on substitue le chauffage indirect au chauffage direct en utilisant une substance convenablement choisie pour opérer l'échange de chaleur. On peut employer l'eau, l'huile, le sable ou un bain de métal fondu, suivant la température à atteindre. Cette façon de procéder a pour avantage d'éviter les variations brusques de température.

Cette précaution est particulièrement importante lorsqu'il s'agit de chauffer un vase en grès qui ne supporte l'élévation de température qu'à la condition que le chauffage soit très régulier et très progressif. Il est bon de maintenir le liquide à évaporer à un niveau plus élevé que celui du liquide qui transmet la chaleur (eau, huile, etc.). Sans cette précaution, les parties du vase non baignées par le liquide s'échauffent plus rapidement que les autres, et il peut en résulter la rupture de celui-ci, en raison des différences de dilatation qui se manifestent.

De plus, le récipient extérieur doit présenter des orifices ménagés à sa partie supérieure et permettant à l'air chaud ou aux vapeurs de se dégager librement sans créer de pression dans l'espace existant entre les deux récipients. Pour cette même raison, le sable employé doit être parfaitement sec.

Les alliages de plomb et d'étain constituent le bain métallique le plus employé. On fait varier leur composition suivant la température à atteindre.

La quantité de chaleur transmise est d'autant plus faible que la substance interposée est moins bonne conductrice. Les bains de sable permettent d'élever la température très progressivement, mais exigent

beaucoup de combustible. On substituera souvent avec avantage des copeaux de fonte tels qu'on les obtient au tour, au sable ordinairement employé.

L'eau est parfois remplacée par des dissolutions salines saturées : chlorure ou azotate de sodium, chlorure de calcium. Leur point d'ébullition étant plus élevé, on peut obtenir une température supérieure à 100°; mais il arrive fréquemment que ces sels se dissocient et attaquent les parois métalliques des récipients. Tel est le cas du chlorure de calcium, même neutre, mis à bouillir dans des vases en cuivre; en outre, l'ébullition est souvent accompagnée de soubresauts et de projection de liquide.

Les bains d'huile sont sujets à s'enflammer et dégagent souvent une odeur nauséabonde.

Chacun de ces modes de chauffage présente ses inconvénients particuliers, et c'est pour cette raison qu'on ne doit y avoir recours qu'en cas de nécessité absolue.

ÉVAPORATION PAR LA VAPEUR

La vapeur fournit un moyen commode de chauffage, soit qu'on la fasse directement barboter dans le liquide à chauffer, soit qu'on la fasse passer dans une série de tuyaux ou dans un double fond.

Le barbotage direct est employé lorsque les propriétés du liquide ne permettent pas d'employer les métaux pour la construction des appareils à concentration. La figure 185 représente une cuve en grès disposée de cette façon. On l'a placée dans une caisse en bois remplie de corps mauvais conducteurs (cendres, plâtre, etc.), en vue de diminuer autant que possible le refroidissement par l'air extérieur. On peut

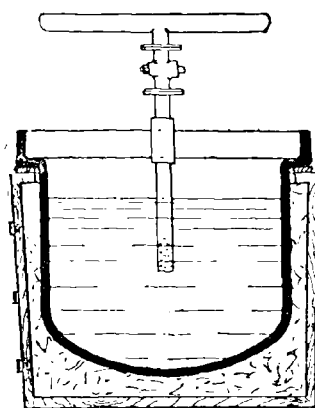


FIG. 185.

également maçonner le récipient dans un massif en ciment, de façon qu'il puisse résister encore, alors même qu'il présenterait quelques fissures.

La vapeur peut encore circuler dans un serpentin ou une série de tubes de forme quelconque, à la seule condition qu'ils présentent toujours une pente suffisante pour l'écoulement de l'eau de condensation. Sans cette précaution, cette eau se rassemblerait en certains points, ce qui aurait l'inconvénient

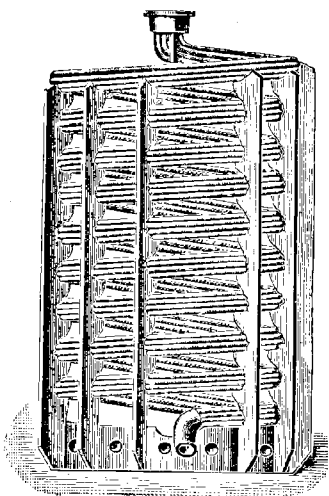


FIG. 186.

de diminuer la surface de chauffe du serpentin. En outre, au moment de l'introduction de la vapeur, cette eau amènerait la condensation brusque de celle-ci avec production de coups d'eau très préjudiciables à la durée de l'appareil.

Les serpentins peuvent être construits avec des tubes de tout diamètre, en cuivre, laiton, fer, plomb, étain ou grès.

Dans le cas des serpentins en grès, les différentes spires sont maintenues dans une position invariable par un support en même matière sur lequel elles sont solidement collées. La surface de refroidissement peut être augmentée en donnant à l'extérieur du tuyau une

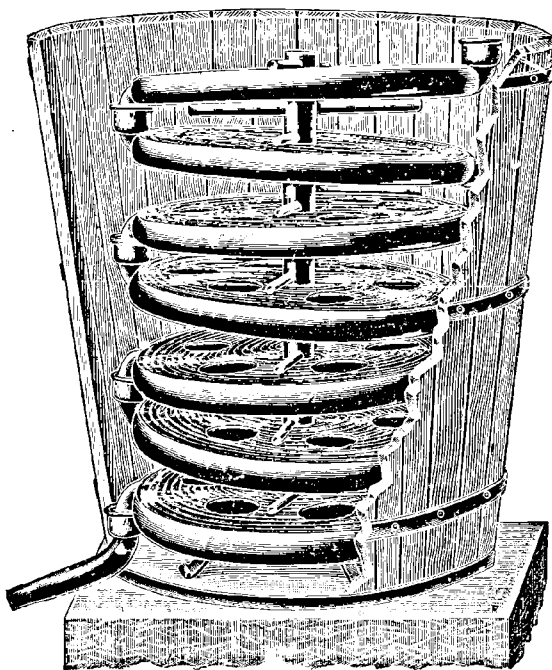


FIG. 187.

forme ondulée (*fig. 186*). Les appareils de ce genre sont toujours fragiles et se rompent fréquemment sous l'influence des variations de température. Pour éviter ces inconvénients, Parobek a imaginé de constituer le réfrigérant par l'assemblage de disques creux reliés par des tubes à emboîtement de petites dimensions. Pour augmenter la surface de refroidissement, les disques sont percés de canaux de communication et leur surface est ondulée. Les disques reposent sur des tiges de fer garnies de feutre traversant un support vertical. La figure 187 rend compte de l'ensemble de l'appareil qui est peu fragile, facilement transportable, le montage s'effectuant sur place et d'un rendement plus élevé que les serpents en grès, à encombrement égal.

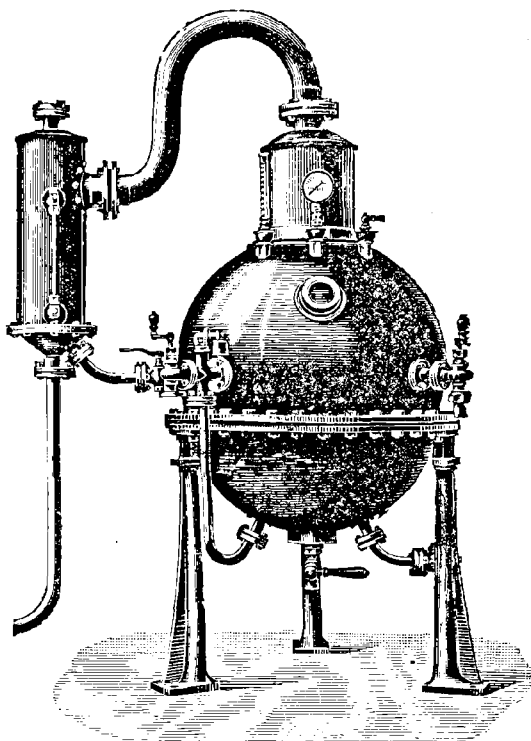


FIG. 188.

Pour éviter les pertes de vapeur et pour pouvoir opérer sous pression, il est indispensable de relier l'extrémité inférieure du serpentin avec un séparateur d'eau de condensation. On doit s'assurer fréquemment que ce dernier appareil fonctionne régulièrement, car, en cas d'arrêt, l'eau de condensation ne pouvant s'écouler remplit le serpentin, et l'on est exposé aux inconvénients qui viennent d'être signalés.

L'évaporation au moyen de serpents peut aussi bien s'effectuer à l'air libre qu'en vase clos ; le dispositif adopté varie avec les propriétés du liquide à évaporer et celles de ses vapeurs.

Les serpents de vapeur sont surtout employés dans les appareils

à extraction et à distillation, ainsi que dans les appareils à concentration dans le vide. Ces derniers appareils sont surtout utilisés en sucrerie pour la cristallisation du sucre en mouvement. Leur forme est très variable, suivant la tendance plus ou moins grande que présente le

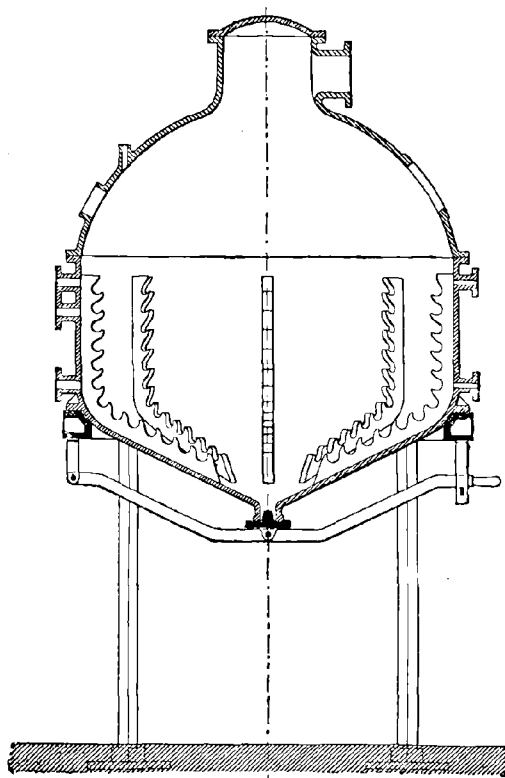


FIG. 189.

liquide à mousser pendant l'ébullition. Le chauffage par serpentin est souvent combiné avec un chauffage par double fond. Ces appareils sont munis d'accessoires nécessaires au contrôle de leur fonctionnement : thermomètre, indicateur de vide, robinet de prise d'échantillon, valves d'introduction de vapeur, d'eau, de jus, etc. Plusieurs verres mastiqués dans la paroi permettent de voir l'intérieur de l'appareil pendant son fonctionnement; la figure 188 représente un des modèles les plus employés.

Ces appareils sont généralement construits en cuivre; mais, ce métal ne convenant pas pour

la concentration des solutions de certains acides (acides oxalique, tartrique), on les construit aussi en plomb antimonié. On peut couler des appareils d'un diamètre de 2 mètres d'une seule pièce, tout en réservant les parties nécessaires à la mise en place des appareils de sûreté et des serpents de vapeur (*fig. 189*).

La vapeur d'échappement des machines peut être utilisée au chauffage des serpents, à la condition de leur donner une surface beaucoup plus considérable, de manière à tenir compte de la faible tempé-

rature qu'elle possède. Aussi emploie-t-on le plus souvent dans ce cas un faisceau de tubes parallèles. La faible température de la vapeur d'échappement présente l'avantage de diminuer les risques de sur-

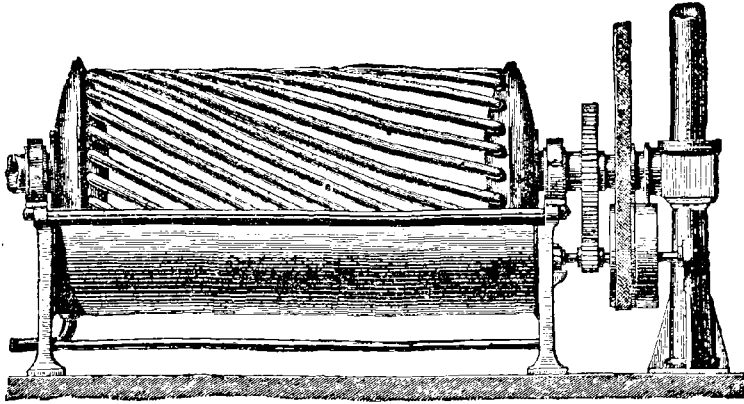


FIG. 190.

chauffage, ce qui est particulièrement à considérer lorsqu'on se trouve en présence de matières organiques facilement altérables par la chaleur.

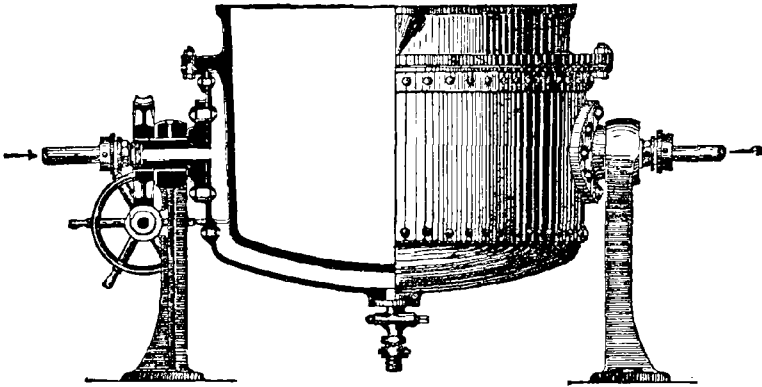


FIG. 191.

La figure 190 représente un serpentin rotatif spécialement avantageux pour l'évaporation des liquides denses. Chacun des tubes se recouvre d'une couche de liquide pendant son immersion, lequel se concentre lorsque le tube arrive au contact de l'air, puis se mélange

à nouveau au liquide contenu dans la cuve. On réalise ainsi progressivement la concentration de toute la masse jusqu'au degré désiré. Les tubes composant le faisceau peuvent aussi être droits ou remplacés

par des disques plats et creux disposés sur un axe également creux dans lequel circule la vapeur.

Les récipients chauffés par introduction de vapeur dans un double fond présentent les formes les plus variées. Les figures 191 et 192 représentent les deux plus courantes. La vapeur doit toujours arriver par le point le plus élevé, et l'eau de

condensation s'écouler par le point le plus bas, de façon à éviter toute accumulation de cette dernière. Il est à recommander de disposer à la

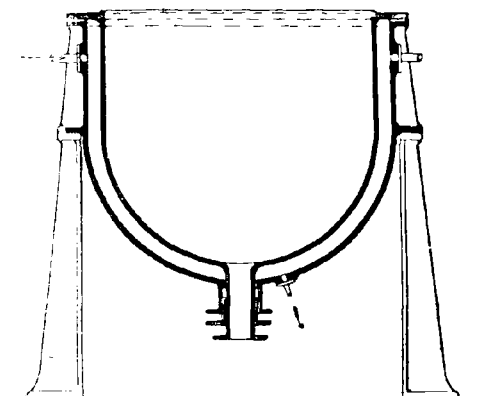


FIG. 192.

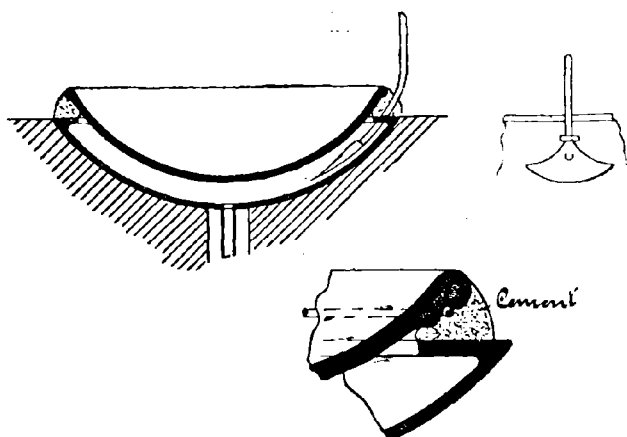


FIG. 193 et 194.

suite un séparateur d'eau de condensation. Si l'on veut employer la vapeur à une pression moindre que celle qu'elle possède à sa sortie du générateur, on dispose un détendeur sur son parcours, que l'on

règle de manière que la pression de la vapeur qu'il fournit soit celle que l'on désire.

Si le récipient intérieur est en grès, il est nécessaire de modérer l'action de la vapeur à son point d'arrivée en disposant une tôle protectrice devant l'orifice de dégagement de la vapeur. Cette tôle est placée de manière à diriger le jet à vapeur vers le bas et à le répartir uniformément sur toute la surface du récipient.

Le vase en grès et l'enveloppe en métal peuvent être réunis comme suit : on fixe une corde de chanvre autour du récipient en grès et on le place dans l'enveloppe en tôle en ayant soin de le faire porter très exactement sur la tresse de chanvre. On le maintient dans cette position en le chargeant avec des poids. L'espace existant entre le rebord du récipient et celui de l'enveloppe est garni de ciment de Portland de très bonne qualité. Lorsqu'il a fait prise, on le protège de l'attaque des acides par une couche de goudron, par exemple. Pour plus de sécurité, il est bon de placer un fil de fer dans l'une des rainures circulaires existant à la partie supérieure du vase en grès. On fixe à ce fil de fer des crochets que l'on noie dans la masse du ciment. On évite ainsi que le vase en grès ne puisse être soulevé par la pression de la vapeur (*fig. 193 et 194*).

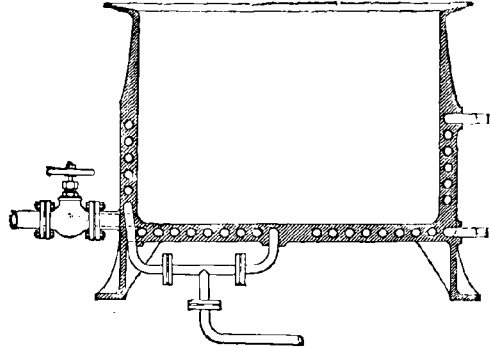


FIG. 195.

Lorsque les liquides à évaporer possèdent un point d'ébullition supérieur à 200°, il est nécessaire de recourir à l'emploi de la vapeur surchauffée. Dans ce cas, on emploie avantageusement des serpents métalliques noyés dans la paroi des récipients à chauffer (*fig. 195*). Cette disposition a comme principal avantage de laisser l'intérieur du récipient entièrement libre et facile à nettoyer. Le métal constituant le récipient (fonte, plomb antimonié) est coulé autour du serpent en fer ou en cuivre. Ce dernier est à parois assez épaisses pour pouvoir résister à la pression de la vapeur, et les parois du récipient n'ont qu'à résister à l'action chimique des matières à traiter.

Cette disposition créée par la maison Frederkind, de Leipzig, présente de grands avantages et peut être appliquée à tous les appareils à évaporation, distillation et avec ou sans agitateur. Ces appareils doivent être entièrement revêtus d'un calorifuge, de manière à éviter autant que possible toute déperdition de chaleur.

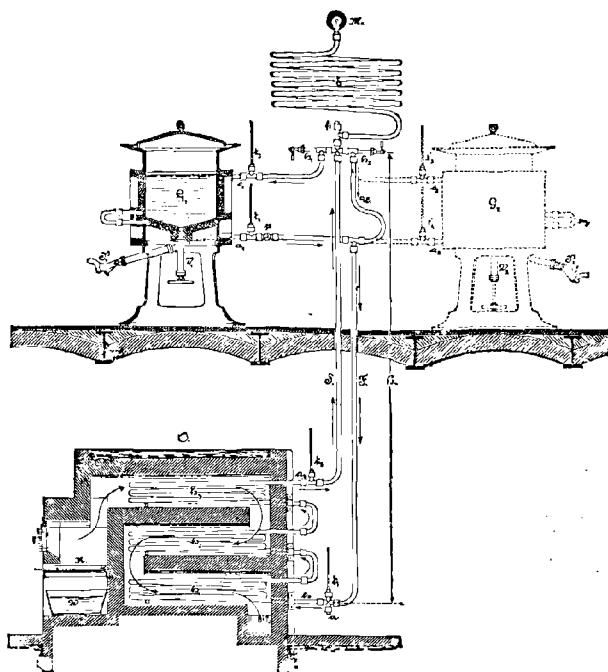


FIG. 196.

Le chauffage s'effectue au moyen de vapeur ou d'eau surchauffée, suivant la température nécessaire. Si l'on utilise l'eau surchauffée (jusqu'à 350° au maximum), on emploie le dispositif suivant (*fig. 196*).

Dans un four O comprenant trois étages, on dispose trois serpents réunis entre eux par de courts raccords extérieurs, de façon à ne former qu'un seul serpent dont les deux extrémités sont reliées aux divers appareils à chauffer par une canalisation SF. A son point le plus élevé, la canalisation est reliée à un serpent E dans lequel se rassemble la vapeur, lequel est muni d'un manomètre *m*.

Cette canalisation sert à la production d'une circulation continue d'eau chauffée sous pression. L'appareil est rempli d'eau froide par le

tube f ; cette eau descend par le tube F , circule dans le four et s'y chauffe progressivement. Elle s'élève par le tube S et passe dans les appareils G_1 et G_2 , qui contiennent des serpentins noyés dans leurs parois. Elle revient alors se réchauffer dans le four. On dispose des thermomètres t_1, t_2, t_3, t_4 , en différents points de la canalisation, de façon à pouvoir surveiller constamment la température et, par suite, la pression.

Le four est construit en matériaux réfractaires, et les gaz chauds y circulent en sens inverse de l'eau. La grille du foyer peut être tirée en avant, de manière à interrompre instantanément le chauffage en faisant tomber le combustible dans le récipient rempli d'eau.

Comme les parois épaisses des chaudières conservent longtemps la chaleur, on peut chauffer alternativement deux appareils au moyen d'une même canalisation, l'un étant en vidange pendant que l'autre est chauffé.

Lorsque l'appareil est monté, on s'assure de l'étanchéité des joints en y comprimant de l'eau au moyen d'une pompe. Le serpentin E reste plein d'air de manière à permettre la dilatation de l'eau et le dégagement de l'air dissous qu'elle contient. Ces appareils bien construits ne présentent aucun danger, malgré la pression élevée que l'eau y atteint. Ils sont d'ailleurs basés sur le même principe que ceux que l'on emploie depuis de longues années pour le chauffage des habitations par l'eau surchauffée.

La concentration préalable des solutions s'effectue très avantageusement lorsque l'on crée un vide partiel au-dessus du liquide placé dans un vase clos. Ce vide a pour effet de diminuer le point d'ébullition du liquide, ce qui permet d'employer de la vapeur d'échappement, au lieu de vapeur directe et, en outre, d'utiliser la chaleur entraînée par les vapeurs émises par le liquide à concentrer lui-même. L'évaporation est d'autant plus économique que l'on opère sous pression plus faible et que l'on utilise les vapeurs un plus grand nombre de fois. Aussi construit-on des appareils dans lesquels les vapeurs sont utilisées successivement deux, trois et quatre fois et que l'on nomme double, triple ou quadruple effets. Ces appareils sont disposés horizontalement ou verticalement.

La figure 197 représente un appareil vertical à deux corps avec une seule utilisation de la vapeur de concentration. Les deux corps

sont construits identiquement. La solution est d'abord concentrée

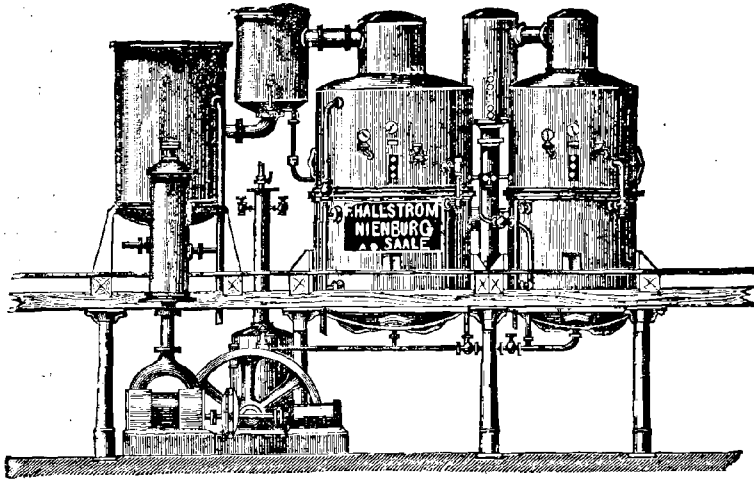


FIG. 197.

dans le premier ; après quoi elle passe dans le deuxième où elle s'achève.

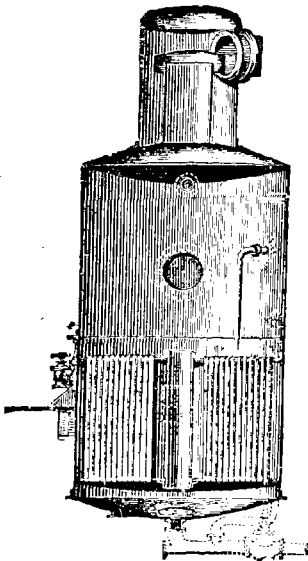


FIG. 198.

Chacun des appareils comprend (fig. 198) un faisceau de tubes disposés à sa partie inférieure. Ces tubes sont réunis à leurs deux extrémités par deux plaques perforées avec lesquelles ils forment joint parfait. La vapeur destinée à chauffer le liquide arrive tout autour de ces tubes dans lesquels circule le liquide ; l'eau de condensation est évacuée par la partie inférieure. Plusieurs appareils disposés de cette même façon sont placés à la suite les uns des autres. Dans le premier, on introduit de la vapeur directe ou d'échappement ; les vapeurs émises par le liquide sont envoyées dans l'appareil suivant, et ainsi de suite jusqu'au dernier, dont les vapeurs sont envoyées dans un condenseur refroidi

par circulation d'eau continue. Cette condensation produit un vide

partiel dans l'ensemble des appareils; mais, comme ce vide serait insuffisant, on l'augmente au moyen d'une pompe à vide.

La différence de pression existant entre deux appareils successifs est utilisée pour faire circuler le jus à concentrer. Celui-ci est introduit dans le premier corps, et il passe successivement dans les corps suivants en se concentrant de plus en plus. Il est extrait du dernier corps au moyen d'une pompe.

Les appareils horizontaux présentent les mêmes dispositions et fonctionnement de même. Sous le faisceau de tubes réchauffeurs est ménagé un espace libre où se rassemblent les produits solides formés pendant l'évaporation (cristaux, précipité, etc.). Un trou d'homme situé à la partie antérieure de l'appareil permet de les recueillir. Les appareils horizontaux doivent être préférés en raison de leur facilité de nettoyage, toutes les fois qu'il peut se déposer des matières solides sur les parois des tubes.

Pour mettre l'appareil en fonctionnement, on doit commencer par faire le vide, puis on aspire le liquide dans les corps d'appareils. On fait alors passer la vapeur dans le premier en laissant ouvert le tube qui le fait communiquer avec le dôme, de manière à évacuer l'air qu'il contient. Cet air est finalement évacué par le condenseur. Le liquide du premier corps ne tarde pas à bouillir, et sa vapeur chasse l'air contenu dans les tubes des corps suivants.

Le tuyautage de vapeur doit être disposé de telle façon que chacun des appareils puisse être chauffé au moyen de vapeur directe ou puisse être mis hors de toute communication avec les autres.

Les avantages des multiples effets se conçoivent aisément.

Un quadruple effet ne dépense que le quart de la vapeur qui serait nécessaire pour évaporer la même quantité d'eau dans un appareil simple. L'économie d'eau de réfrigération est la même, puisque les trois quarts de la quantité de vapeur émise par le liquide ont été condensés à l'aide du liquide à concentrer lui-même. L'eau de condensation est avantageusement employée à l'alimentation du générateur de vapeur.

Le nombre des corps d'appareils à employer dans chaque cas particulier doit être calculé d'après les propriétés de la solution à concentrer (point d'ébullition, chaleur spécifique, etc.) et les conditions locales (prix du charbon, quantité d'eau disponible).

En général, on emploie un corps d'appareil par 15° de différence de température existant entre la vapeur introduite dans le premier corps et la température d'ébullition du liquide dans le dernier corps.

Les conditions de fonctionnement les plus avantageuses ont été indiquées par Kauffmann en 1892, dans ces termes :

1° Les échanges de chaleur s'effectuent d'autant mieux que le liquide bout plus vivement ;

2° L'ébullition est d'autant plus vive que la différence de température est plus considérable ;

3° Les incrustations sont moins importantes dans le cas d'une ébullition vive ;

4° Lorsque la circulation du liquide est insuffisante, les tubes et les parois de l'appareil se recouvrent de bulles d'air adhérentes qui s'opposent aux échanges de chaleur.

Les multiples effets se construisent généralement en cuivre ou en fonte.

Les vapeurs émises pendant l'ébullition vive qui a lieu dans chaque corps d'appareil entraînent de nombreuses gouttelettes de liquide que l'on sépare autant que possible au moyen de divers dispositifs. La figure 200 représente un des plus employés. Il se compose d'un disque mobile contre lequel les vapeurs viennent s'écraser ; les gouttelettes de liquide se réunissent et s'écoulent pour retourner dans l'appareil, tandis que les vapeurs sèches quittent l'appareil par l'ouverture supérieure. Ce dispositif peut être placé dans l'appareil lui-même (*fig. 200*) ou dans un dôme placé au dessus (*fig. 199*).

La quantité d'eau évaporée dépend surtout du bon fonctionnement de la condensation, laquelle dépend elle-même de la marche de la pompe à air et du réfrigérant. La rapidité de l'évaporation varie avec la grandeur de la surface de chauffe et la différence de température existant entre la vapeur introduite dans le premier corps et la température d'ébullition du liquide dans le dernier.

Pour augmenter la production d'un multiple effet, on peut donc employer de la vapeur à pression plus élevée pour le chauffage ou encore abaisser la température d'ébullition du liquide dans le dernier corps. Les deux moyens conduisent au même résultat, qui est d'augmenter la différence totale de température. Si l'on ne dispose que de vapeur d'échappement, on ne peut augmenter sa pression sous peine d'exercer

une contre-pression sur le piston de la machine et, par suite, de diminuer sa force. Dans ce cas, on ne peut que chercher à obtenir un vide plus avancé dans le dernier corps, de façon à abaisser autant que possible la température à laquelle le liquide y bout.

Ce résultat s'obtient par l'activité de la condensation, qui possède

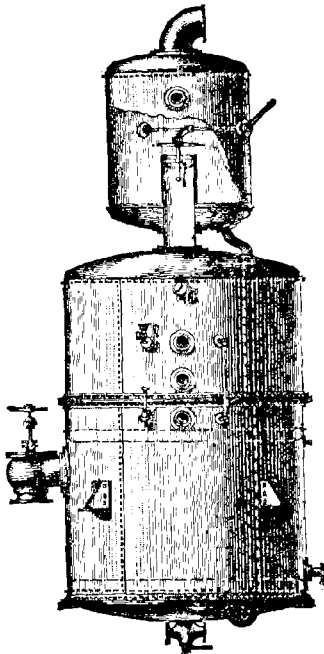


FIG. 199.

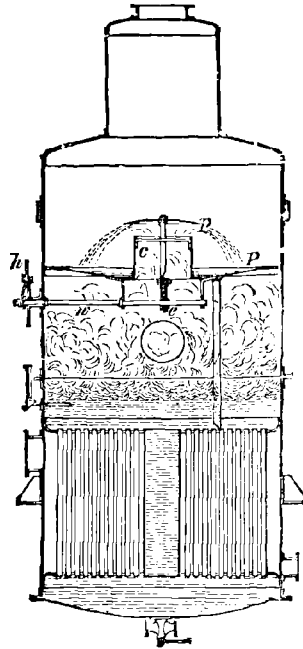


FIG. 200.

une aussi grande importance pour le bon fonctionnement des multiples effets que pour celui des machines à vapeur.

La condensation s'effectue au moyen d'un condenseur qui a pour but de transformer le plus complètement possible la vapeur en liquide par l'action réfrigérante d'une circulation d'eau. Une pompe à vide crée le vide dans le condenseur et le maintient en aspirant l'air qui peut s'y introduire. Cet air peut provenir de l'extérieur par des fuites ou de celui que contenait en dissolution l'eau injectée.

La pompe à air peut aspirer en même temps l'eau chaude qui se forme dans le condenseur ou n'avoir que l'air à aspirer. Dans ce cas,

l'eau de condensation s'écoule par son propre poids au moyen d'un tube vertical ayant au moins 10 mètres de haut.

Les condenseurs appartiennent à deux groupes très différents. Dans les premiers, la condensation de la vapeur s'obtient par injection d'eau froide au sein de la vapeur même ; dans les seconds, appelés condenseurs à surface, la vapeur est séparée de l'eau réfrigérante par une paroi

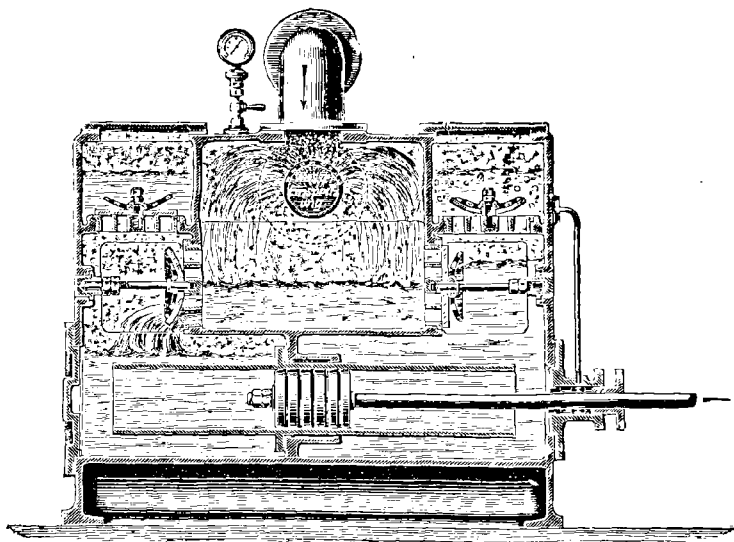


Fig. 201.

métallique ; ces derniers appareils peuvent encore se classer suivant que l'eau ou la vapeur y circulent en sens inverse ou dans le même sens.

La figure 201 représente un condenseur à injection d'eau dans lequel l'eau et la vapeur se mélangent aussitôt. La vapeur rencontre d'abord l'eau la plus froide et de l'eau de plus en plus chaude à mesure que la condensation progresse. Il en résulte que l'eau s'écoule plus froide que la vapeur à condenser, et l'air parvient assez chaud à la pompe à vide. En outre, la quantité d'eau employée est très importante.

Il en est tout autrement pour les condenseurs dans lesquels la vapeur arrive par la partie inférieure et se trouve en contact avec de l'eau de plus en plus froide à mesure qu'elle s'élève. La pompe à vide aspire l'air à la partie supérieure ; cet air possède à peu près la même tem-

pérature que l'eau servant au refroidissement, tandis que l'eau qui quitte l'appareil est presque aussi chaude que la vapeur elle-même.

La figure 202 représente un condenseur Weiss dont le fonctionnement est aisé à comprendre. L'eau froide est amenée en C par la pompe M et le tuyau C ; elle arrive en contact avec les vapeurs provenant d'un appareil à évaporation ou d'une machine à vapeur.

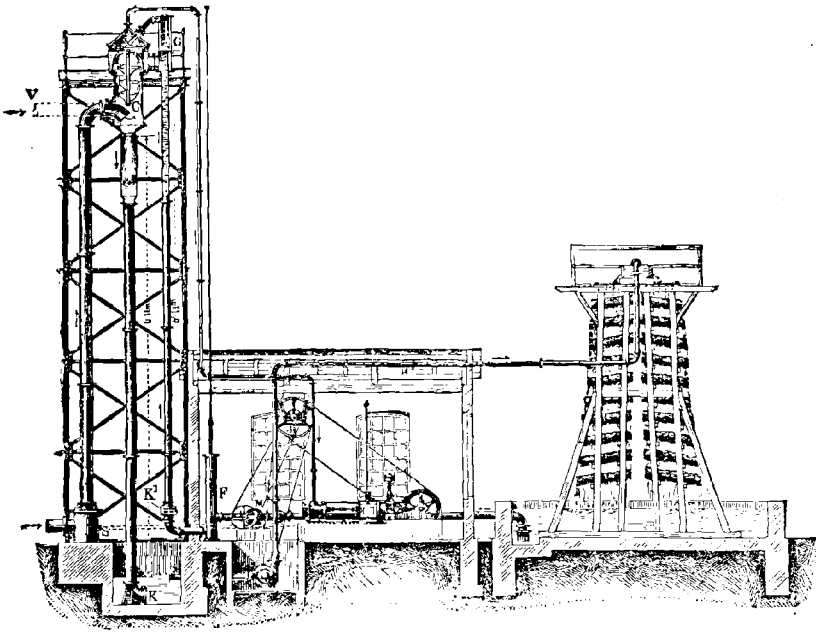


FIG. 202.

Elle se condense et l'eau formée s'écoule en K par le tube barométrique mesurant plus de 10 mètres de hauteur. Les gaz non condensés (air mélangé d'un peu de vapeur) sont aspirés à la partie supérieure du condenseur par une pompe à vide. Une soupape K empêche l'eau qui pourrait être accidentellement entraînée de parvenir à la pompe et une autre soupape K', disposée à l'autre extrémité du tube barométrique, s'oppose à toute aspiration de liquide qui introduirait de l'eau dans la conduite d'amenée des vapeurs.

Pour débarrasser l'eau réfrigérante de l'air qu'elle pourrait entraîner en raison d'une fuite dans la canalisation, on interpose sur son trajet un réservoir d'air F entre la pompe M et le tube G ; l'air qui se ras-

semble dans ce réservoir s'échappe par un tube étroit et très long.

Les avantages de cette installation sont les suivants : faible quantité d'eau de réfrigération nécessaire, faibles volumes d'eau et d'air à aspirer, d'où économie de force motrice et de frais de première installation des pompes. L'eau de réfrigération est utilisée à nouveau une fois qu'on l'a refroidie par passage dans un bâtiment de graduation. Elle n'a d'ail-

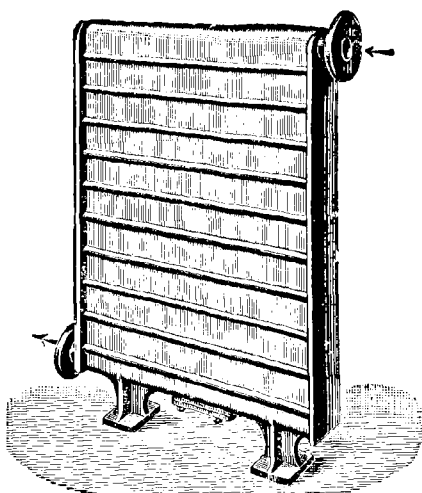


FIG. 203.

leurs pas besoin d'être absolument pure, car elle ne vient pas en contact avec la pompe à vide, mais seulement avec la pompe à eau, beaucoup moins délicate. Lorsqu'il est utile de recueillir séparément l'eau de réfrigération et l'eau de condensation en vue de faire réserver celle-ci à l'alimentation des chaudières, on emploie les condenseurs à surface. Ce sont les seuls employés dans les machines marines.

D'une façon générale, ces condenseurs se composent d'un récipient cylindrique traversé par

un grand nombre de tubes. La vapeur à condenser circule tout autour de ces tubes dans lesquels passe l'eau froide; celle-ci sort réchauffée par la partie supérieure, tandis que l'eau de condensation est évacuée par la partie inférieure. On peut également adopter la disposition inverse, c'est-à-dire faire circuler la vapeur dans les tubes et l'eau à l'extérieur.

Ces condenseurs présentent un grave inconvénient. Leur activité diminue rapidement en raison des dépôts calcaires ou des incrustations qui se forment sur les tuyaux, dépôts dont le faible pouvoir conducteur s'oppose aux échanges de chaleur. Le nettoyage est difficile et nécessite une interruption de fonctionnement; aussi sont-ils peu employés.

Le condenseur imaginé par Klein remédie à ces inconvénients (*fig. 203*). Il se compose d'un grand nombre de plaques creuses en fonte assemblées, entre lesquelles circule la vapeur. L'eau de réfrigération

ruisselle à la surface extérieure de ces plaques; l'eau de condensation est extraite au moyen d'une pompe. Elle est débarrassée de l'huile de graissage qu'entraîne toujours la vapeur, puis employée à nouveau pour les générateurs.

Cette disposition rend le nettoyage très aisé, même en pleine marche; en outre, l'air et l'évaporation activent considérablement le refroi-

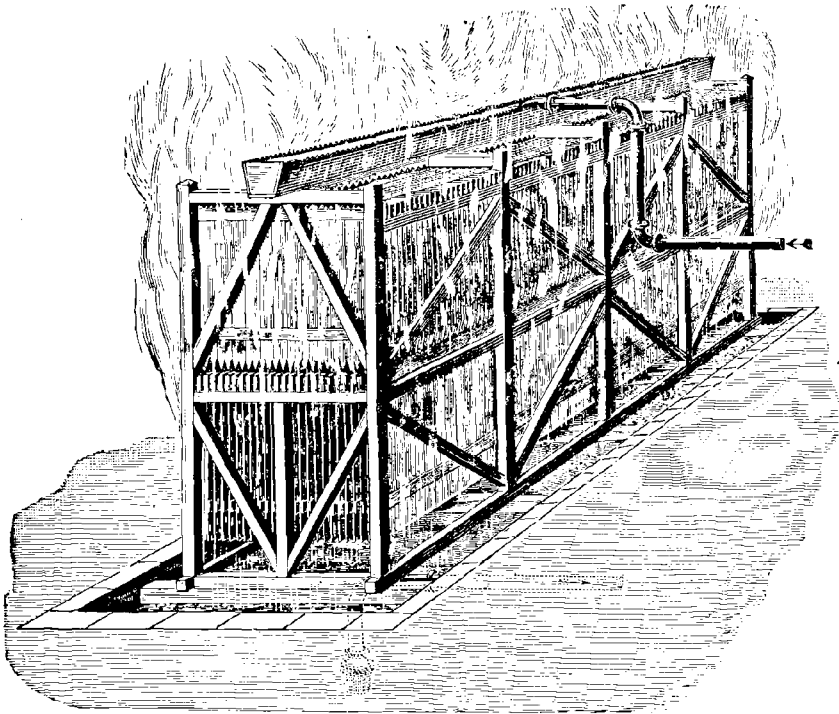


FIG. 204.

dissement, si bien que la consommation d'eau n'est guère que la moitié de ce qu'elle est dans les autres appareils.

Les avantages de la condensation pour les machines à vapeur et les appareils à évaporation sont faciles à saisir; aussi construit-on actuellement beaucoup plus de machines avec condensation que par le passé.

Mais la condensation exige une quantité considérable d'eau froide, et, lorsque la quantité dont on dispose est insuffisante, il est nécessaire

de rechercher le moyen de faire servir à nouveau l'eau dont on dispose : on y parvient en la refroidissant.

Ce refroidissement s'effectue par rayonnement et par conductibilité en mettant l'eau à refroidir en contact avec un grand volume d'air qui en évapore une partie. Cette évaporation nécessitant une quantité de chaleur considérable active encore le refroidissement.

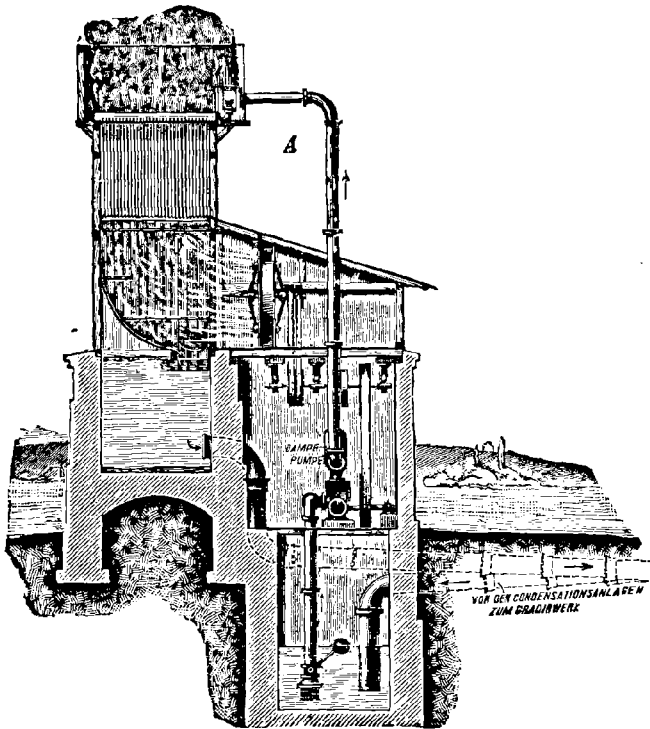


FIG. 205.

La réalisation de ces différents phénomènes s'obtient en donnant à l'eau la plus grande surface possible et en la mettant en contact avec une grande quantité d'air. Ce résultat peut être atteint par plusieurs moyens différents : on peut faire circuler l'eau ou l'air ou même les deux fluides en sens inverse l'un de l'autre ; on peut encore abandonner l'eau chaude dans de grands réservoirs où elle se refroidit d'elle-même.

On emploie assez souvent des dispositifs analogues aux bâtiments

de graduation. Klein réalise ce même résultat par l'emploi de cloisons verticales disposées en deux étages et dans des directions perpendiculaires (*fig. 204*).

Cette combinaison offre à l'air un passage facile ; il s'élève rapidement et l'eau qui tombe en pluie lui offre une très grande surface de contact. Le même dispositif peut être complété par l'emploi d'un ventilateur qui envoie un violent courant d'air à travers la pluie d'eau chaude et active encore son refroidissement (*fig. 205*). La pompe amenant l'eau à refroidir et le ventilateur sont avantageusement commandés par un moteur électrique.

Les tours réfrigérantes sont de hauts échafaudages en bois dont les parois sont formées par des lames de bois inclinées, disposées à la façon des jalousies. Ces lames permettent le libre accès de l'air, mais s'opposent à toute déperdition des particules d'eau que l'on pulvérise finement à l'intérieur.

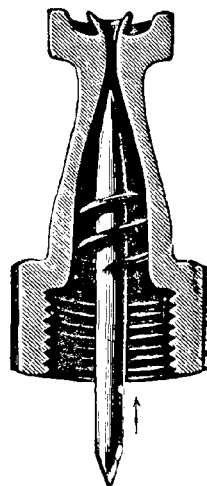


FIG. 206.

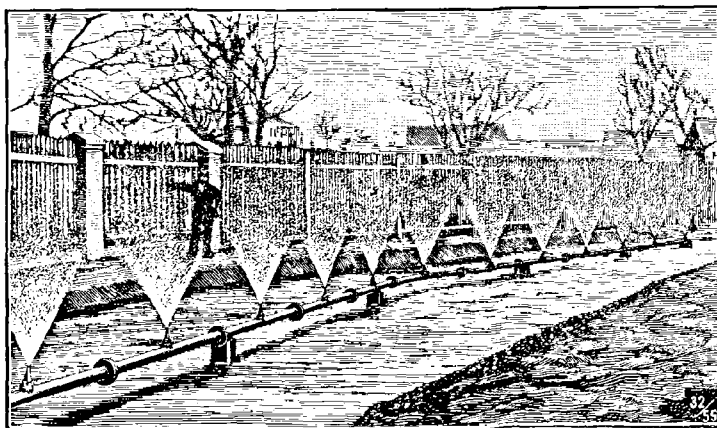


FIG. 207.

La pulvérisation de l'eau en très fines gouttelettes s'obtient généralement au moyen des pulvérisateurs Koerting (*fig. 206*). Ces pulvéri-

sateurs présentent un ajutage formé par la réunion de deux troncs de cônes par leur petite base.

Dans l'axe de l'appareil se trouve une tige métallique portant un filet très profond et à pas allongé. L'eau arrivant sous pression prend un mouvement de rotation très rapide. Sa vitesse augmente considérablement au moment où elle arrive dans l'espace rétréci, et elle se résout en un grand nombre de particules très fines au moment où elle quitte l'appareil.

Lorsqu'on dispose d'une place suffisante, ces pulvérisateurs sont installés en grand nombre en plein air au-dessus d'un réservoir dans lequel l'eau retombe (*fig. 207*). Ces installations sont économiques et n'exigent que très peu de réparations.

Enfin, le refroidissement de l'eau de condensation peut être obtenu en la laissant couler dans de grands bassins disposés à l'air libre, dans lesquels elle se refroidit en raison de l'évaporation et du contact de l'air; mais cette solution présente l'inconvénient d'occuper un emplacement considérable et une réserve d'eau très importante.

CHAPITRE VIII

PROCÉDÉS MÉCANIQUES POUR LA SÉPARATION DES CORPS

La séparation des corps se trouvant à différents états d'agrégation est un problème qui se présente très fréquemment dans l'élaboration des produits chimiques, soit qu'il s'agisse d'amener un corps au degré de pureté désirée, soit qu'il s'agisse de rendre un traitement plus économique en ne l'appliquant qu'à la portion utile d'une matière première. Comme exemple de ce dernier cas, nous citerons l'enrichissement des minerais ; la séparation des éléments étrangers et des matières inertes (gangue) a pour résultat l'obtention d'un minerai plus riche et plus pur susceptible d'être traité plus avantageusement.

Les corps peuvent être séparés en utilisant leurs différences de propriétés physiques ou chimiques. Nous ne nous occuperons pas ici des procédés basés sur ces dernières ; leur étude se rattache étroitement à celle de la chimie.

Les procédés mécaniques de séparation des corps utilisent les différences de propriétés physiques existant entre les corps à séparer. Parmi les plus importantes nous citerons : différences de grosseur des fragments, densité, propriétés magnétiques, solubilité, point d'ébullition, etc.

Nous étudierons successivement les procédés permettant de séparer mécaniquement les corps solides entre eux, les liquides d'avec les solides, les liquides eux-mêmes et enfin les gaz d'avec les corps qu'ils tiennent en suspension.

PROCÉDÉS DE SÉPARATION DES CORPS SOLIDES

Le procédé le plus souvent appliqué est celui qui consiste à classer les corps solides suivant leur état de division en les faisant passer à travers une toile métallique dont les mailles possèdent une dimension déterminée.

Le degré de finesse d'une substance est souvent exprimé par l'indication du numéro du tamis le plus serré à travers lequel elle a été passée. Les numéros des tamis indiquent le nombre de fils qu'ils contiennent par pouce linéaire; pour être complète, cette indication doit être suivie d'un numéro indiquant la grosseur des fils qui forment le tamis, à moins que celle-ci ne soit négligeable, eu égard à la largeur des mailles.

Exemples :

Le tamis n°	20	possède.....	61	mailles au centimètre carré
— n°	30	—	144	—
— n°	50	—	324	—
— n°	80	—	900	—
— n°	135	—	2.500	—
— n°	200	—	5.000	—

Étant donné le numéro d'un tamis, il est facile d'en déduire le nombre de mailles qu'il possède par centimètre carré, sachant qu'un pouce linéaire vaut $36^{\text{mm}},94$.

Le tamisage de grandes quantités de substances s'effectue au moyen de bluteries. Le plus simple de ces appareils se compose d'un prisme à base hexagonale sur les faces duquel est fixée une toile métallique ou un tissu de crin ou de soie à mailles peu serrées. Cette toile est parfois tendue sur des cadres rectangulaires ajustables sur les faces du prisme, ce qui en rend le renouvellement plus aisé. Il est souvent avantageux de protéger ce tissu d'une usure par trop rapide en plaçant à l'intérieur du prisme hexagonal et suivant son axe un tambour en tôle perforé tournant avec lui.

Le nettoyage des tamis s'effectue simplement en leur imprimant de rapides secousses qui détachent la matière adhérente et facilitent son passage. Ce même résultat peut être obtenu en fixant à l'une des extrémités de l'axe un disque ovale prenant appui sur une surface plane; à chaque tour de l'appareil, l'arbre retombe et communique un léger choc à l'ensemble. L'opération s'effectue dans une caisse en bois qui empêche la poussière de se dégager et dont la partie inférieure

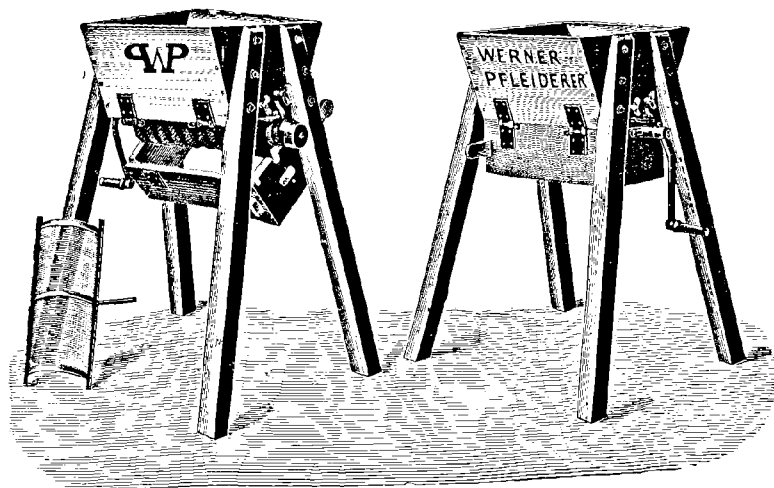


FIG. 208.

emmagasine la matière tamisée. Les fragments trop gros pour passer à travers la toile sont rejetés par l'extrémité opposée à celle par laquelle se fait l'introduction du produit à traiter; on enlève de temps à autre le produit tamisé à l'aide d'une pelle, ou d'une façon continue au moyen d'un dispositif mécanique. Ces appareils sont surtout employés pour le tamisage de la chaux, du ciment cuit, du phosphate de chaux et des matières analogues.

La maison Werner et Pfeleiderer construit un modèle d'appareil (*fig.* 208) dans lequel le cylindre tamiseur est fixe. Une brosse hélicoïdale tourne dans son intérieur et vient appuyer légèrement sur la paroi inférieure du cylindre. La matière introduite à l'une des extrémités de l'appareil est saisie par la brosse et exactement appliquée contre le tamis; cette pression détruit les agglomérations de substances pulvérulentes, et le produit fin passe à travers la toile métallique, tandis

que les fragments trop gros sont amenés à l'extrémité opposée de l'appareil et rejetés par une ouverture distincte. La pression de la brosse sur le tamis peut être réglée au moyen de vis, de façon à ce qu'elle soit toujours suffisante sans que les crins passent à travers les mailles.

Les tamis étant interchangeable, chaque appareil permet de tamiser à différents degrés de finesse. Cet appareil, qui se distingue par son

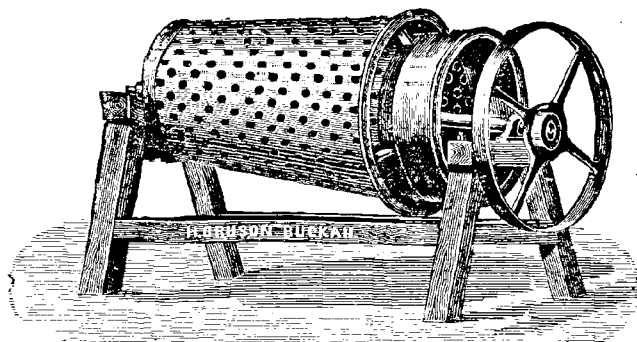


FIG. 209.

rendement élevé, sa facilité de nettoyage et sa simplicité de construction, est particulièrement approprié au tamisage des couleurs.

Pour la séparation des produits se présentant en assez gros fragments, on emploie des tambours cylindriques ou de forme légèrement conique en tôle perforée dits trommels. La matière est introduite par l'une des extrémités et le résidu ressort par l'autre. On dispose concentriquement plusieurs de ces tambours sur un même axe, ce qui permet de classer les fragments en plusieurs catégories de grosseurs différentes, chacune étant recueillie séparément (*fig. 209*). Ces mêmes tambours sont parfois disposés en plusieurs étages de manière à ce que la matière tombe de l'un dans l'autre. Cette dernière disposition est surtout employée pour la préparation des minerais.

Lorsqu'on se trouve en présence de matières sèches et finement broyées, mais ne présentant pas de tendance à s'agglomérer et à obstruer les toiles tamisantes, on emploie avantageusement les tamis à force centrifuge.

La figure 210 représente une disposition brevetée par les usines Naegel et Kemp, de Hambourg. Le cylindre tamiseur est constitué par

deux parties demi-cylindriques, sur lesquelles on tend le tissu choisi ; on peut encore y fixer une tôle perforée. A l'intérieur de ce cylindre et dans son axe se trouve un arbre portant plusieurs disques verticaux réunis par des spirales en tôle mince, l'ensemble formant une vis d'Archimède. Ces ailettes sont animées d'un mouvement de rotation beaucoup plus rapide que celui du tamis. Elles saisissent la matière amenée dans le cylindre et la pressent contre la surface tamisante, en même temps qu'elles la font progresser d'une extrémité à

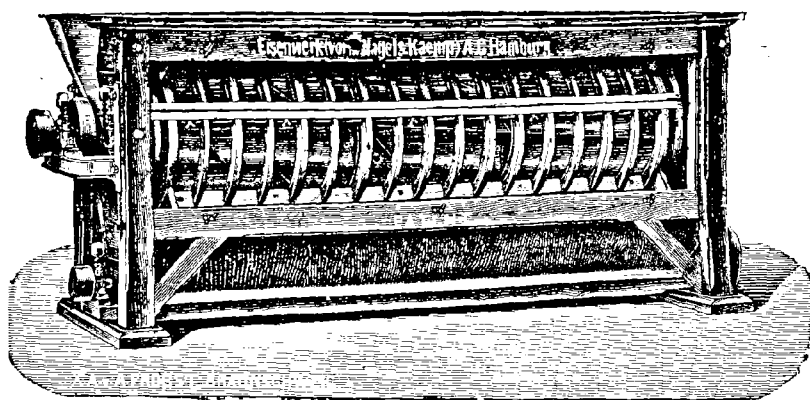


FIG. 210.

l'autre de l'appareil en raison de leur disposition en hélice. La matière qui n'a pu passer à travers le tamis est rejetée à l'extrémité de l'appareil.

Le tamis peut être constitué par différentes toiles à largeur de mailles variable, ce qui permet de recueillir séparément des produits de finesse différente. Ces tamis à force centrifuge permettent de traiter, à égalité de surface et de temps, un poids de substance beaucoup plus considérable que les tamis précédemment décrits, et leur encombrement est moins considérable. La séparation des éléments de grosseur différente étant très exacte, la quantité de matière à broyer à nouveau est plus faible. En outre, comme ils travaillent sans le dispositif à secousses, les tamis sont moins éprouvés et les réparations moins fréquentes.

Les matières denses, dures et à arêtes vives sont classées à l'aide de toiles métalliques tendues sur un cadre rectangulaire beaucoup plus

long que large et disposé de manière à pouvoir faire varier facilement son inclinaison sur l'horizontale ; cette disposition est connue sous le nom de claie. Les fragments passant à travers la toile métallique sont d'autant plus fins que la pente donnée au tamis est plus forte. Cet artifice permet d'employer une toile à mailles beaucoup plus larges

qu'on ne pourrait le faire avec un tamis horizontal. L'usure de celle-ci est réduite dans de grandes proportions et le rendement satisfaisant.

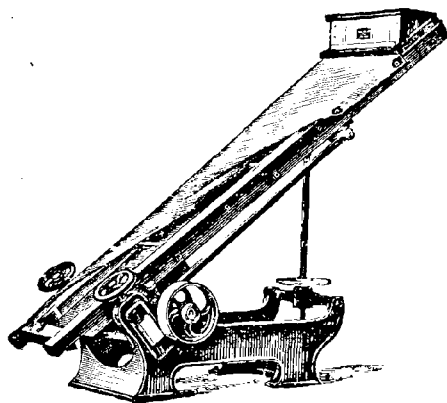


Fig. 211.

La figure 211 représente un appareil de ce genre. La matière est introduite à l'extrémité supérieure du plan incliné formant crible ; celui-ci est mécaniquement secoué, et le criblage s'effectue pendant la chute ralentie

de la matière. L'inclinaison du tamis est réglable à volonté suivant la grosseur de grain désirée.

Enfin les séparateurs sont basés sur un principe tout différent. La matière à tamiser est placée dans un courant d'air qui entraîne les parties les plus légères, tandis que les autres restent en place.

Le séparateur Mumfort et Moodie (*fig. 212*), construit suivant ce principe, est constitué par un récipient cylindrique au-dessous duquel se trouve un ventilateur E. L'axe vertical de ce ventilateur E² porte, en outre, un plateau horizontal qui projette en tous sens la matière pulvérisée en grains de 0 à 10 millimètres de diamètre. L'air aspiré par le ventilateur entraîne les portions les plus légères et les projette sur les parois du récipient A, d'où elles tombent sous l'action de leur propre poids, tandis que l'air est à nouveau aspiré sous le plateau horizontal.

La matière pulvérulente tombe entre les parois de A et le cône B, tandis que les parties trop grosses tombent directement dans ce cône B, d'où on le renvoie au broyage.

Le problème de la séparation des corps solides de densités différentes se présente fréquemment dans le traitement des minerais et des charbons

Les tamis à secousses sont constitués par des cadres métalliques horizontaux superposés et garnis de toiles métalliques à mailles variables animés chacun d'un mouvement alternatif de va-et-vient. Ils sont peu employés et surtout pour des substances denses et très finement broyées (lavage des sables aurifères, enrichissement des minerais d'étain, etc.). Ces procédés étant plutôt du domaine de la métallurgie que de celui de l'industrie chimique, nous n'en dirons que quelques mots.

Le minerai tel qu'on l'extrait du sol est d'abord grossièrement concassé, puis l'on sépare à la main les fragments de matière inerte du minerai proprement dit. Ce dernier est lui-même trié et classé suivant son degré de richesse. Les portions les plus riches sont directement soumises au traitement métallurgique.

Les autres sont d'abord broyées à l'aide des appareils décrits au chapitre IV, puis placées sur des toiles métalliques disposées dans de grands bacs pleins d'eau. Cette eau est mise en mouvement au moyen de pistons verticaux de grand diamètre qui l'aspirent, puis la refoulent brusquement sous les toiles. Les portions les plus légères sont soulevées et entraînées, tandis que les minerais plus riches et plus denses restent en place.

Les portions légères sont à nouveau broyées et séparées tant que la valeur du minerai récupéré à chaque traitement est en rapport avec les frais de l'opération.

Il existe un grand nombre de procédés pour la séparation méthodique des différents constituants d'un minerai. Ces procédés permettent de résoudre tous les cas qui peuvent se présenter.

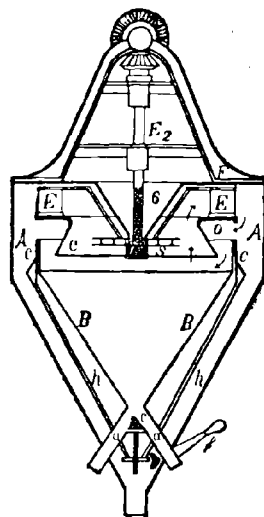


FIG. 212.

SÉPARATION DES SOLIDES D'AVEC LES LIQUIDES

On dispose d'un grand nombre de moyens pour effectuer la séparation des corps solides d'avec les liquides ; suivant les proportions relatives des deux corps et leur nature, on emploie la pression, la filtration, la cristallisation, la précipitation, etc.

PRESSION

Les presses diffèrent suivant le moyen employé pour leur fournir l'énergie nécessaire et selon leur application spéciale. La quantité de matière à presser à chaque opération et la pression à obtenir déterminent le dispositif à adopter dans chaque cas.

S'il suffit d'obtenir une faible pression, on emploie des presses composées de deux plateaux en fonte entre lesquels on dispose en couche d'épaisseur régulière les sacs en tissu résistant contenant la matière. A l'aide de pignons dentés et de crémaillères, on rapproche les plateaux jusqu'à obtention de la pression désirée. Ces presses ne sont guère utilisées que pour donner une première compression, dans la fabrication de l'huile et de la stéarine, par exemple.

Les presses à vis, dont les plus simples ne sont que la reproduction de la presse à copier ordinaire, présentent les avantages d'une installation facile et d'un maniement aisé, tout en étant peu coûteuses. Suivant le cas, la partie mobile est le plateau supérieur ou le plateau inférieur. La vis est actionnée à l'aide d'un balancier ou d'un volant fileté prenant appui sur le bâti.

S'il est nécessaire d'obtenir une pression plus considérable, le volant fileté est placé entre la partie supérieure du bâti et le plateau mobile, et il est commandé par l'intermédiaire d'une vis sans fin et d'un levier (*fig. 213*). La vis peut être débrayée ou embrayée à volonté ; le plateau est d'abord descendu à la main, la vis étant débrayée, et la pression nécessaire s'obtient par son intermédiaire.

On construit également des presses plus puissantes dont le plateau mobile est commandé par deux vis placées à chacune de ses extrémités. La commande s'effectue mécaniquement au moyen d'un arbre portant une poulie fixe et une poulie folle et par l'intermédiaire de deux vis sans fin. Dès que la compression désirée est obtenue, on fait passer la courroie sur la poulie folle.

Les presses à levier articulé assurent la régularité parfaite de la compression, les deux plateaux restant toujours rigoureusement parallèles. Il en résulte que l'ensemble travaille dans de meilleures conditions et fatigue moins. Le rendement mécanique de l'effort exercé est très satisfaisant, et la pression obtenue est limitée par la longueur des bras du levier articulé.

Ce dispositif est fréquemment combiné avec l'emploi de la vis. Au moyen d'un volant on fait tourner une vis dont les deux moitiés portent des filets dirigés en sens inverse. Entre les deux

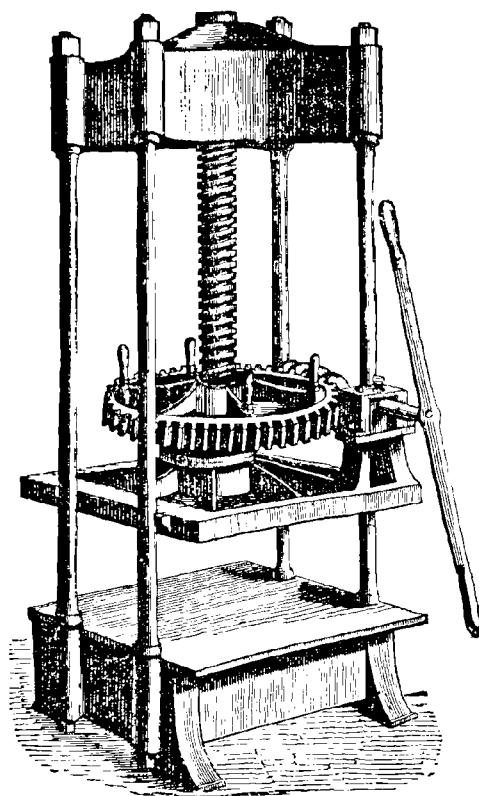


FIG. 213.

parties filetées se trouve une roue dentée, calée sur l'axe, que l'on peut faire tourner à l'aide d'un levier portant un cliquet et prenant point d'appui sur les dents de la roue. L'ouvrier amène d'abord le plateau mobile le plus bas possible à l'aide du volant; dès que l'effort à faire devient trop considérable, il a recours à l'emploi du levier (*fig. 213*).

Lorsqu'il s'agit d'exercer une pression considérable, il y a tout avantage à recourir à l'emploi de la presse hydraulique. Ces presses présentent l'avantage d'être d'un maniement commode et de fournir,

au moyen d'un faible effort initial, une pression qui n'a pour limite que la résistance des différentes parties de l'appareil. On sait qu'elles sont basées sur le principe de l'incompressibilité des liquides et la transmission en tous sens de la pression exercée en un point quelconque d'un liquide enfermé dans un vase clos.

Le plateau mobile de la presse forme la partie supérieure d'un piston de grand diamètre, qui se meut dans la partie inférieure de la presse formant cylindre. La pompe servant à comprimer le liquide possède deux pistons plongeurs de diamètres différents. Le plus gros se débraie automatiquement dès que la pression atteint 50 atmosphères, et l'on continue à pomper avec l'autre jusqu'à ce que la pression désirée soit obtenue. Une soupape de sûreté empêche que l'on ne dépasse la pression maximum pour laquelle l'appareil a été construit et éprouvé. La pression réalisée par cette pompe est transmise au plateau mobile par l'intermédiaire d'eau, de glycérine ou d'un mélange de ces liquides. Un manomètre métallique permet de mesurer la pression obtenue, qui est la même par unité de surface dans la pompe de compression et dans le gros cylindre supportant le plateau mobile. Dès que la pression désirée est obtenue, on isole ce dernier de la pompe en fermant un robinet placé sur le tube qui les réunit. On évite ainsi que la pression ne diminue en raison des petites fuites qui pourraient se produire dans la pompe.

Lorsqu'on veut faire cesser la compression, on ouvre un deuxième robinet, et le liquide s'écoule directement dans le bac d'alimentation de la pompe, où il est recueilli sans aucune perte. En procédant ainsi, on évite de fatiguer inutilement les soupapes de la pompe de compression.

Les applications de la pompe hydraulique sont extrêmement variées et la forme des plateaux est dans chaque cas appropriée au cas particulier. C'est ainsi que dans les huileries on place plusieurs plateaux en forme de cuvettes les uns au-dessus des autres, disposés de telle façon que la partie inférieure du plateau supérieur puisse pénétrer dans la cuvette placée au dessous. Les graines oléagineuses sont placées entre ces plateaux, et l'huile qui s'écoule est recueillie dans une rigole commune.

Dans d'autres cas, il est nécessaire que la pression s'effectue à chaud. Chacun des plateaux est disposé pour pouvoir être chauffé

par la vapeur, et un système de tubes articulés permet d'alimenter chaque plateau de vapeur et de recueillir l'eau de condensation (*fig. 214*).

Si la matière à presser est préalablement placée dans des sacs, les coutures de ceux-ci présentant une moindre résistance doivent être placées au milieu et non sur les bords.

Dans le cas où plusieurs presses hydrauliques se trouvent réunies dans un même local, on peut avantageusement les actionner au moyen d'une seule et même pompe de compression. Si elles sont placées dans des locaux différents, on a recours à un accumulateur d'eau sous pression.

La figure 215 représente une petite presse hydraulique pour essais de laboratoire. La matière à comprimer est placée sur le plateau supérieur jusqu'au plus bas niveau possible, puis la pression désirée est atteinte en manœuvrant le piston à l'aide du volant inférieur. On peut ainsi réaliser une pression de 300 à 350 atmosphères et la contrôler à l'aide d'un manomètre.

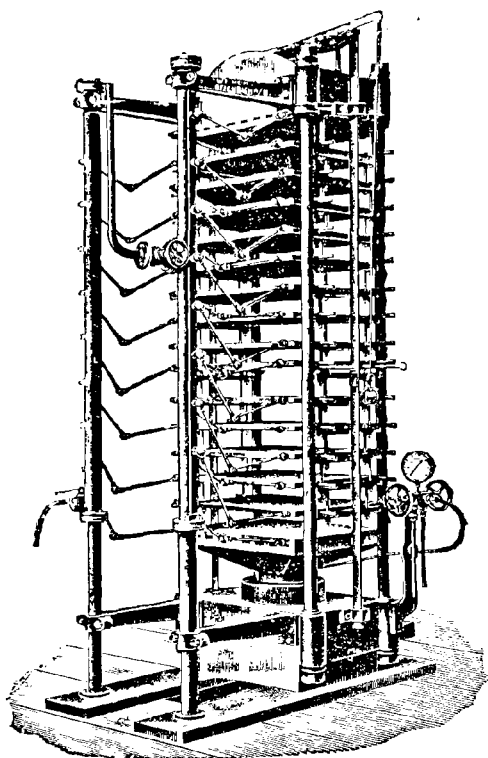


FIG. 214.

ESSOREUSES CENTRIFUGES

Lesessoreuses centrifuges permettent de séparer les corps solides d'avec les liquides en utilisant la pression sous forme de force centrifuge. Elles permettent également de séparer des liquides de densités différentes se trouvant à l'état d'émulsion. (Exemple : matières

grasses contenues dans le lait.) En outre, on les emploie avantageusement pour sécher rapidement les corps cristallisés ou non : carbonate de soude, sel marin, sucre, ou de les débarrasser de l'eau mère ou des liquides qui les imprègnent.

Le principe de ces appareils est très simple. Le mélange des corps solides et liquides est introduit dans un panier cylindrique perforé de

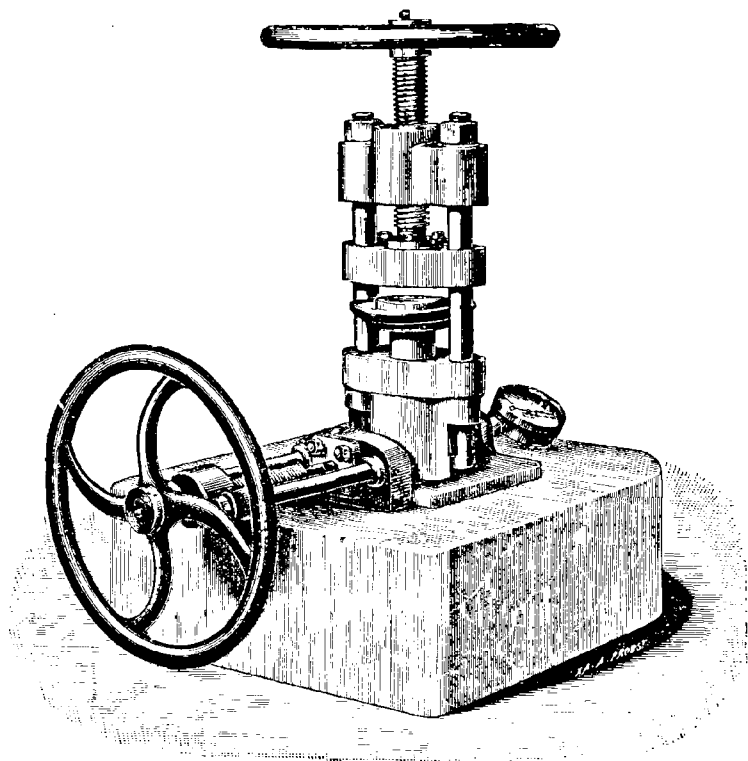


FIG. 215.

nombreux trous, revêtu intérieurement d'un tissu filtrant et pouvant tourner très rapidement sur son axe, à raison de 1.000 à 1.200 tours par minute. La force centrifuge développée applique énergiquement la substance contre le tissu filtrant. Le liquide traverse ce dernier, tandis que les particules solides restent à l'intérieur du panier sous forme d'une masse plus ou moins compacte et ne retenant qu'une faible proportion d'humidité. Lorsque les particules solides sont assez

grosses et régulières, on peut se dispenser d'employer un tissu filtrant et le remplacer par une tôle métallique (*fig. 216*).

Le panier est monté sur un axe vertical prenant point d'appui par sa partie inférieure sur une crapaudine et maintenue à sa partie

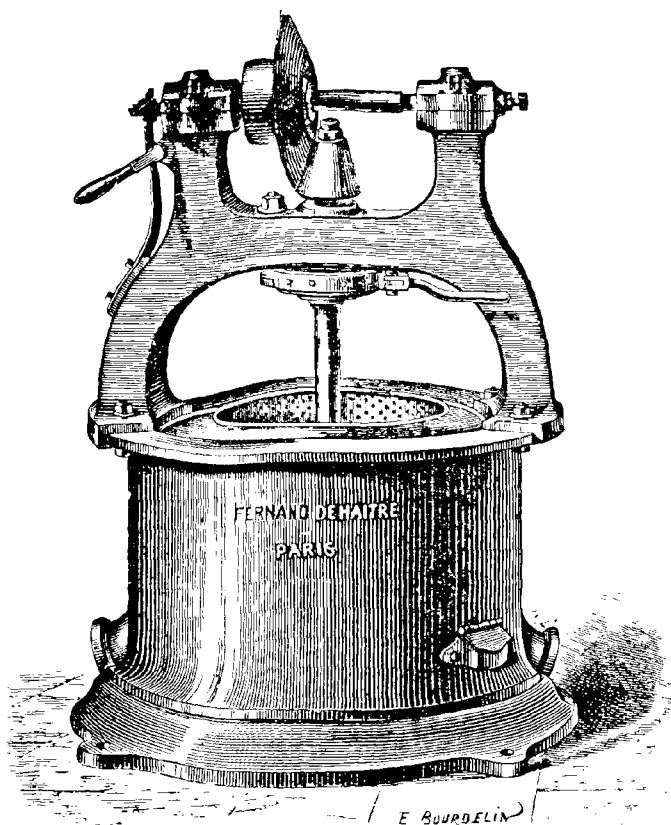


FIG. 216.

supérieure par un coussinet. La commande du panier peut s'effectuer soit par le haut, soit par le bas. La première disposition est la plus anciennement employée; elle exige des fondations très solides, mais ne nécessite que peu de place. Par contre, l'axe vertical présente l'inconvénient d'encombrer le panier et de gêner les manipulations nécessaires à l'introduction et à l'enlèvement de la matière.

En outre, l'huile ayant servi au graissage du palier supérieur

tombe fréquemment dans le panier et vient souiller la matière qu'il renferme.

Les essoreuses à commande en dessous du panier (*fig. 217 et 220*) sont de plus en plus préférées aux précédentes. Elles exigent un peu plus de place pour leur installation, mais ne nécessitent pas de fondation, car elles ne produisent aucune trépidation, particularité qui permet de les installer à n'importe quel étage. Il suffit de les

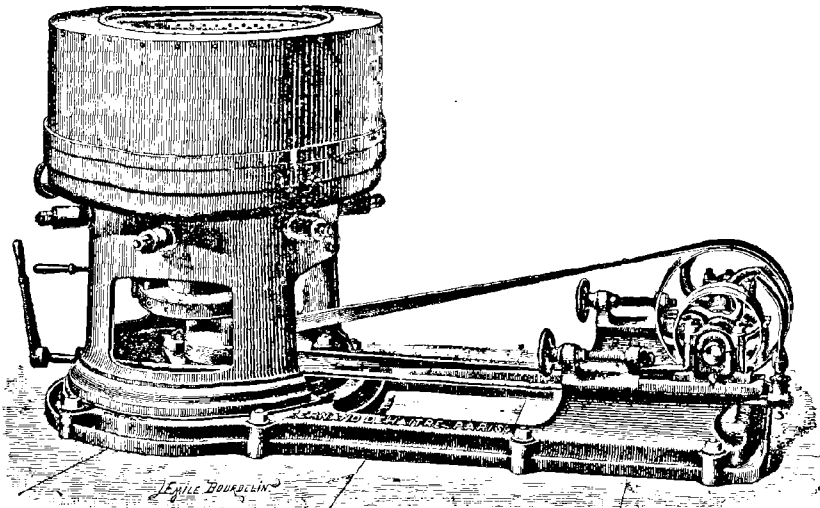


FIG. 217.

monter sur un cadre formé par l'assemblage de plusieurs madriers. Le panier est entièrement accessible, ce qui facilite considérablement l'introduction et l'enlèvement de la matière.

Les paniers des essoreuses sont construits en matériaux capables de résister parfaitement à l'action des produits à traiter. On emploie le plus souvent le cuivre et le fer étamés, et, dans des cas spéciaux, le bronze, le laiton, le nickel, l'aluminium, l'argent, le grès, la porcelaine, etc. L'emploi de métaux recouverts d'une couche de plomb (plombage homogène) n'est pas à conseiller, car le plomb doit posséder une épaisseur de 2 à 3 millimètres pour former un revêtement efficace, et le panier se trouve considérablement alourdi, sans que sa résistance mécanique soit proportionnellement accrue. Il est préférable, dans ce cas, d'avoir recours à un revêtement en ébonite.

L'enveloppe fixe qui entoure le panier (cuve) peut être elle-même doublée de plomb, d'ébonite ou émaillée suivant le cas particulier.

Comme exemple d'application spéciale du principe de l'essoreuse, nous citerons les essoreuses à nitrification construites par la maison Heine de Viersen (D. R. P. n° 81.417) et employées avantageusement dans la fabrication de la nitrocellulose.

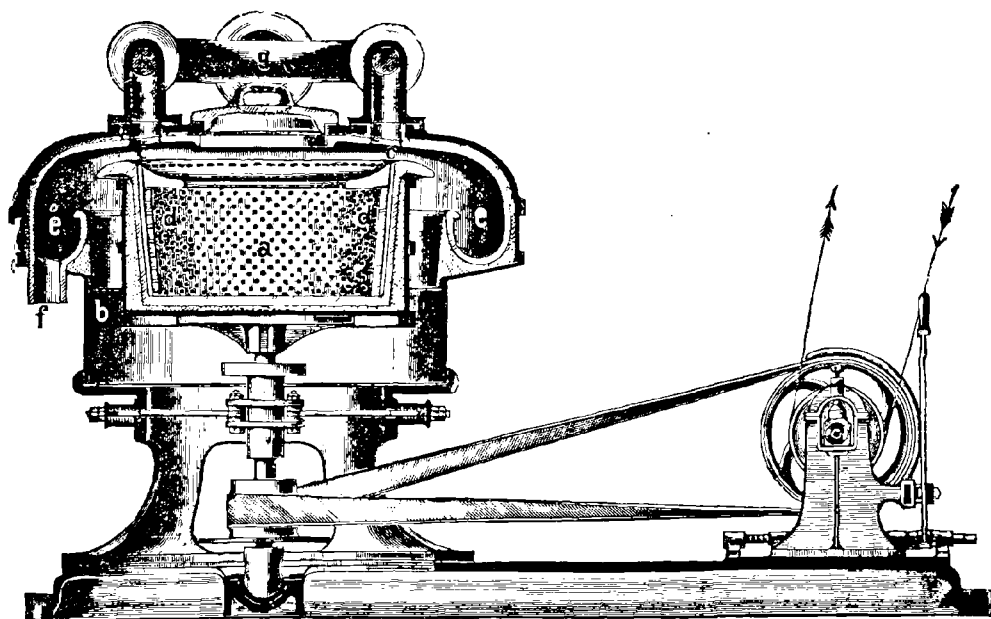


FIG. 218.

La figure 218 représente la coupe de cet appareil, et la figure suivante 219 la vue du panier seul. Ce panier *a* est en grès résistant parfaitement à l'action des acides. Il est placé à l'intérieur d'une enveloppe en forte tôle d'acier, avec laquelle il ne forme qu'une seule pièce, ce qui lui permet de résister à l'action de la force centrifuge. Les parois du panier *a* sont percées d'un certain nombre de canaux verticaux *c* qui communiquent avec un grand nombre de petits trous *d* débouchant dans l'intérieur du panier; ces derniers ne traversent donc pas de part en part la paroi de grès. Il en résulte que, l'appareil étant au repos, on peut le remplir du mélange d'acides et de coton à nitrer, comme on le ferait dans n'importe quel vase en grès. Dès que la

nitration est terminée, on met le panier en marche, et la force centri-

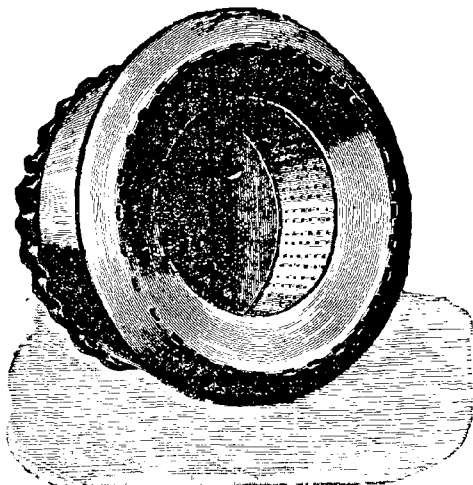


FIG. 219.

fuge chasse le liquide par les trous *d* et les canaux *c* dans la rainure circulaire *e* également en grès, d'où il s'écoule par la tubulure *f*. Cette rainure circulaire est également protégée par une armature en acier et recouverte par un couvercle en grès formant fermeture hermétique au moyen d'un joint en caoutchouc. Les vapeurs acides qui se dégagent abondamment pendant la nitration et l'essorage sont aspirées au moyen

de la tubulure *g*. Grâce à ces dispositifs, aucune partie métallique ne se trouve en contact avec le liquide ou la substance à essorer.

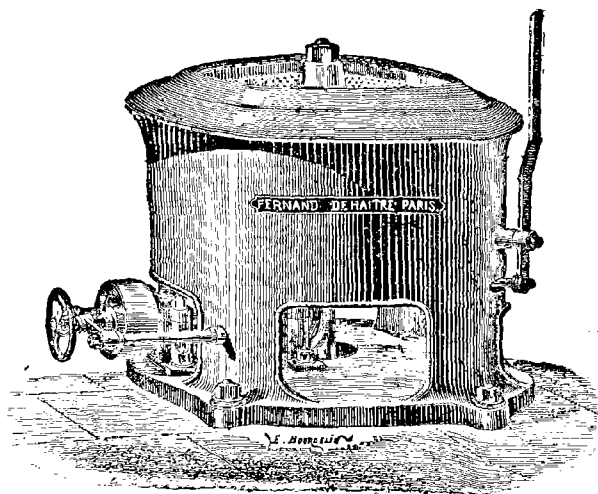


FIG. 220.

Le chargement desessoreuses doit s'effectuer avec beaucoup de soin et de régularité; lorsque la charge est irrégulièrement répartie, il en

résulte un déplacement latéral du centre de gravité de l'ensemble, lequel a pour conséquence une flexion de l'axe vertical. En outre, le poids de substance chargée à chaque opération et la vitesse de rotation doivent être réglés exactement suivant les données du constructeur.

Les essoreuses à mouvement en dessous sont souvent munies d'un dispositif régulateur destiné à compenser les irrégularités de répartition de la charge. Ce dispositif consiste en un certain nombre de cercles métalliques placés autour du panier, soit à sa partie supérieure, soit à sa partie inférieure. Sous l'influence de la force centrifuge, ces cercles prennent une position telle qu'ils équilibrent la surcharge pouvant exister en un point quelconque de la périphérie. On doit s'assurer fréquemment du bon fonctionnement de ce dispositif et veiller à ce que tout l'appareil soit maintenu en parfait état.

La commande des essoreuses peut s'effectuer au moyen d'une courroie de transmission ou à l'aide d'un petit moteur à vapeur monté sur le même bâti. Mais le dispositif le plus avantageux est incontestablement la commande par moteur électrique. Voici ce que dit à ce sujet la maison Siemens et Halske de Berlin :

« Le fonctionnement d'une essoreuse exige une dépense d'énergie très variable, circonstance qui ne permet pas d'employer avantageusement les commandes mécaniques ordinairement usitées. Quel que soit le dispositif employé, on ne peut éviter que la courroie ne glisse fortement au moment de la mise en marche. En effet, on relie un appareil présentant un moment d'inertie considérable avec un arbre en pleine vitesse de rotation. Ce glissement a des conséquences fâcheuses et entraîne l'usure rapide de la courroie.

« Le dispositif consistant à commander l'essoreuse par un électromoteur et au moyen d'une courroie présente déjà l'avantage de permettre une mise en marche très progressive, et l'on peut avec quelques précautions passer de l'arrêt à la pleine vitesse sans que la courroie glisse à aucun moment.

« Mais la solution la plus élégante et la plus avantageuse consiste à commander l'essoreuse par un électromoteur placé au-dessous du panier et calé sur son axe même. Cette disposition évite tous les efforts latéraux et rend toute courroie inutile. En outre, l'ensemble occupe moins de place et la surveillance des essoreuses est très facile, quel que soit leur nombre. La vitesse de rotation de l'appareil permet au moteur

électrique de fonctionner avec un bon rendement, et la mise en marche peut s'effectuer par la simple manœuvre d'un commutateur.

« De plus, la vitesse maxima pour laquelle l'appareil est construit ne peut pas être dépassée, ce qui évite toute cause d'explosion de ce

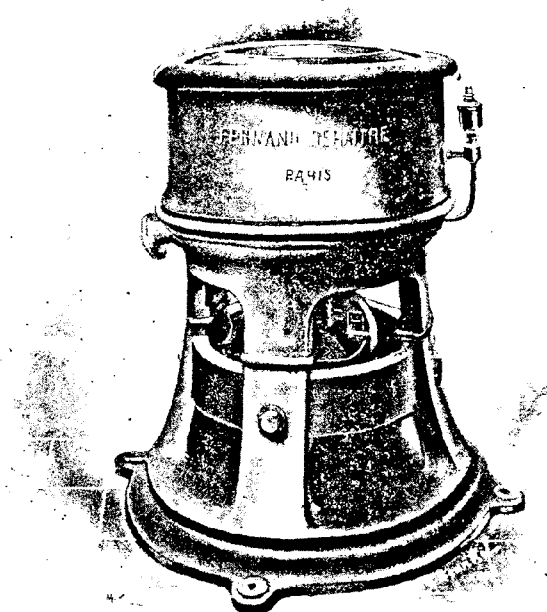


FIG. 221.

chef, et l'on peut obtenir toutes les vitesses inférieures à la vitesse maxima, si le besoin s'en fait sentir.

« La construction des moteurs à courant continu pour essoreuses est telle qu'il ne peut jamais y avoir d'étincelles entre les balais et le collecteur, malgré les vibrations de l'axe. Pour la mise en marche, on emploie un rhéostat évitant tout échauffement du moteur. Ce rhéostat peut être disposé de façon telle qu'il serve en même temps à régler la vitesse de rotation.

« La commande par courants alternatifs est généralement encore plus

simple, car on peut le plus souvent éviter toute résistance de mise en marche par une construction appropriée du moteur. Lorsque l'on a le

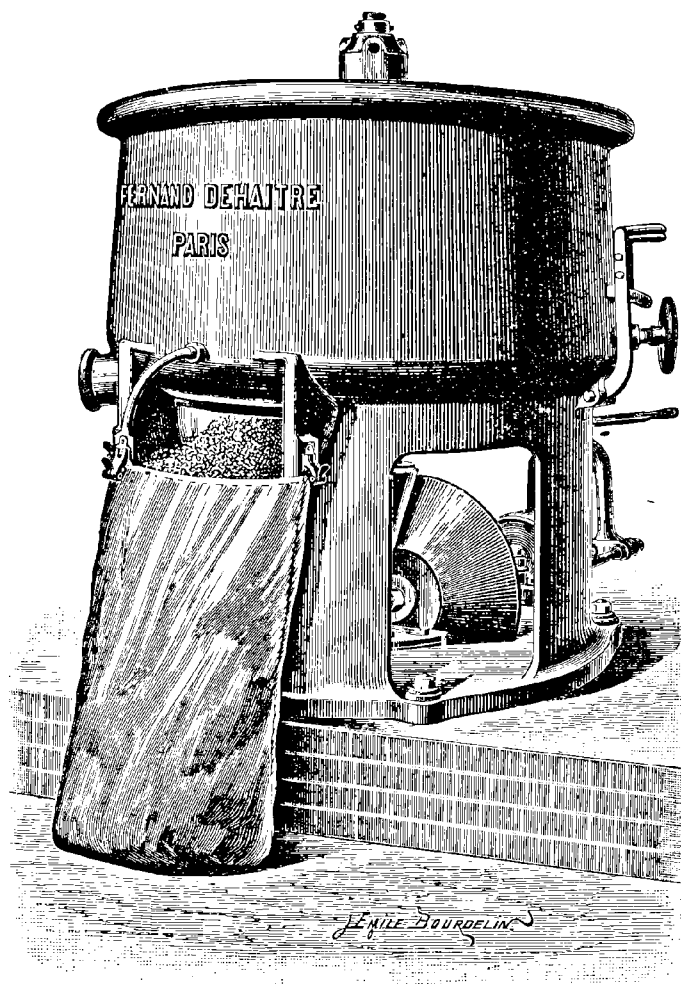


FIG. 222.

choix, la commande par moteur à courant alternatif est de toutes la plus avantageuse. »

La figure 221 représente une essoreuse à mouvement en dessous commandée par moteur électrique direct construit par la maison Dehaitre de Paris.

Le produit essoré est généralement enlevé à la pelle par la partie supérieure du panier. Quand on se trouve en présence de corps imprégnés d'acides ou d'alcalis, on adopte desessoreuses disposées de façon telle que l'appareil se vide automatiquement et par le bas.

Le fond du panier est pourvu d'une ou plusieurs ouvertures. Un second fond pourvu des mêmes ouvertures est placé immédiatement

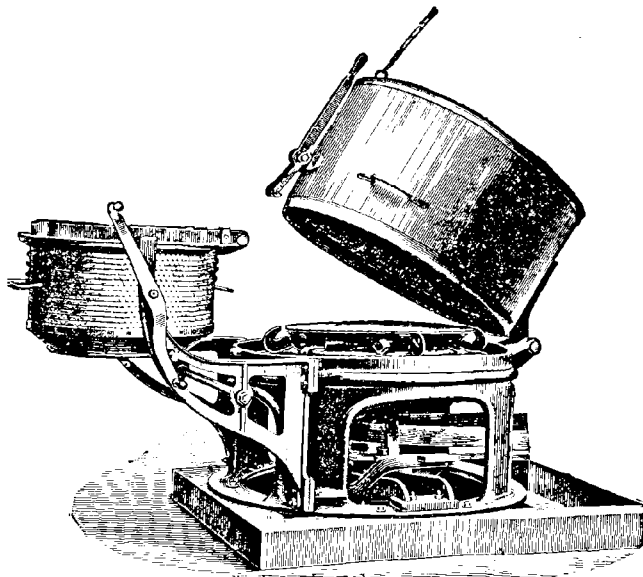


FIG. 223.

en dessous. Par une manœuvre simple, une fois l'essorage terminé, on fait coïncider les ouvertures des deux fonds, et la matière essorée est poussée dans une ouverture de déchargement aboutissant à un plan incliné, à la sortie duquel elle peut être directement ensachée. Dans d'autres cas, la matière tombe sur une courroie transporteuse qui la recueille et la transporte dans un autre local.

La figure 222 représente uneessoreuse de ce genre construite par la maison Dehaitre. Les appareils de ce genre sont très avantageux pour le séchage du carbonate de soude, du sel marin et en général de tous les produits cristallisés. Ils réunissent les avantages de la propreté, de la commodité et de la rapidité du travail.

Lorsqu'il s'agit d'essorer des sels menus auxquels l'eau de cristallisation adhère énergiquement, on peut aider à la séparation par l'introduc-

tion d'eau ou de vapeur dans le panier de l'essoreuse. Dans ce cas, l'intérieur du panier percé de trous doit être garni intérieurement d'un tissu filtrant ou d'une toile métallique. Sans cette précaution, la pression du liquide ou de la vapeur entraînerait une trop grande quantité de cristaux à travers les perforations du panier.

Si la masse à essorer est renfermée dans des sacs et que ceux-ci soient directement placés dans le panier de l'essoreuse, on doit veiller à ce qu'ils soient très régulièrement répartis sur son pourtour; la négligence de cette précaution peut avoir pour résultat de fausser l'arbre et de donner lieu à de graves accidents.

On construit d'autres modèles d'essoreuses dont le panier est amovible et disposé pour pouvoir être enlevé de la cuve et culbuté en dehors de l'appareil.

L'enveloppe est disposée pour pouvoir être soulevée comme le montre le dessin (*fig. 223*); elle est maintenue dans cette position par un contrepoids. L'axe de l'essoreuse porte un plateau sur lequel on fixe le panier au moyen de plusieurs crochets venant s'engager dans une rainure qu'il porte à sa partie inférieure. Lorsque l'essorage est terminé, on fait glisser le panier et on le repose sur les supports; il est alors aisé de le culbuter. On peut aussitôt le remplacer par un nouveau panier plein de substances à essorer, de manière à éviter toute la perte de temps nécessaire par la manipulation de la matière.

Dans d'autres modèles, on enlève verticalement le panier au moyen d'un palan fixé à l'extrémité d'une potence tournante.

La figure 224 représente une petiteessoreuse pour essais du laboratoire; l'entraînement se fait par cône et plateau de friction. La manivelle est disposée de telle façon qu'elle s'arrête de tourner dès qu'on l'abandonne, ce qui évite toute cause d'accident.

L'essoreuse peut encore être commandée par le haut au moyen

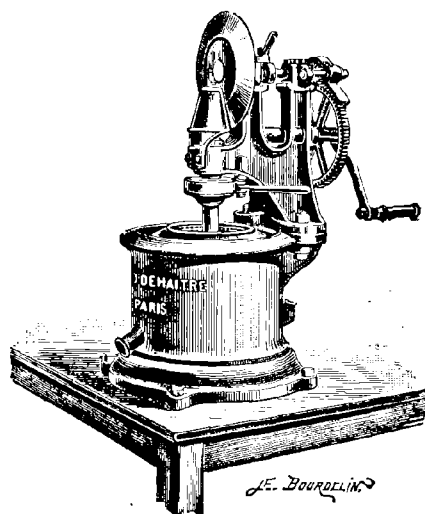


FIG. 224.

d'une disposition particulière de poulies et de courroies. Cette disposition est avantageuse dans le cas où l'on a intérêt à ménager la place.

Enfin citons encore les essoreuses doubles (système Dehaitre), qui tiennent moins de place que deux essoreuses, offrent plus de stabilité et coûtent moins cher. En chargeant alternativement les deux paniers, l'ouvrier se trouve constamment occupé, et, s'il prend soin de mettre en route le second panier avant d'arrêter le premier, celui-ci servira de volant pour la mise en marche du second.

SÉPARATION PAR DÉCANTATION

La séparation par décantation peut se faire dans le but de séparer, d'une part, les particules solides en suspension dans un liquide et, d'autre part, ce liquide. Elle peut encore avoir pour objet de classer différentes matières solides suivant leur grosseur et leur différence de densité, en les mettant provisoirement en suspension dans un liquide.

La clarification par repos ou décantation simple s'applique avantageusement aux liquides qui ne peuvent être filtrés, soit en raison de leurs propriétés physiques ou chimiques (liquides très visqueux, acides ou alcalis), soit en raison de la nature des substances en suspension (précipités gélatineux obstruant très rapidement les pores des filtres). Dans tous ces cas, il est plus simple et plus avantageux d'abandonner le liquide au repos et de décanter avec précaution la liqueur claire. La filtration par les moyens ordinaires exigerait trop de temps et occasionnerait de trop fortes dépenses de main-d'œuvre, de nettoyage et de renouvellement des tissus filtrants, etc.

Le temps nécessaire au dépôt des matières solides dépend d'un grand nombre de facteurs et ne peut être déterminé que par l'expérience. La viscosité du liquide joue un grand rôle; on la diminue en chauffant préalablement ce liquide (huile, goudrons, etc.), à une température convenable. La densité des matières en suspension et leur degré de division jouent également un rôle important; elles se déposent d'autant plus difficilement qu'elles sont plus légères et plus

fines. Dans un grand nombre de cas, on peut hâter leur précipitation en introduisant dans le liquide une substance minérale dense et finement divisée (craie, plâtre, sulfate de baryte, etc.), qui gagne plus rapidement le fond et entraîne les particules solides en suspension dans sa chute. Mais ce procédé n'est pas toujours efficace et les matières solides ainsi employées retiennent toujours une quantité assez importante de liquide à clarifier que l'on ne peut que difficilement récupérer.

Dans d'autres cas, on réalise la clarification en introduisant dans le liquide un corps susceptible de se coaguler à son contact (albumine, colle de poisson, etc.). En se coagulant, le corps entraîne toutes les particules solides. C'est là le procédé couramment employé pour la clarification du vin, de la bière, etc. Cette méthode très efficace représente une sorte de filtration renversée : le liquide reste immobile, tandis que la membrane filtrante (matière coagulée) se déplace lentement jusqu'à ce qu'elle atteigne sa partie inférieure.

Enfin, on peut donner naissance au sein du liquide lui-même à un précipité gélatineux (alumine par exemple) qui, en se déposant, entraîne les matières en suspension.

Le simple repos du liquide constitue toujours la solution la plus économique, et il doit être préféré toutes les fois que l'on peut y avoir recours. Les réservoirs dans lesquels on abandonne la liqueur au repos peuvent avoir une section carrée, rectangulaire ou circulaire ; la hauteur doit être au minimum le double du diamètre ou de la plus grande dimension de la base. Ce rapport peut être considérablement dépassé suivant les conditions particulières à chaque cas.

Chaque récipient doit être muni d'une ouverture de vidange placée à sa partie inférieure et assez large pour permettre d'évacuer aisément les dépôts qui s'y rassemblent. Les robinets servant à l'écoulement du liquide clair sont disposés à une hauteur convenable au-dessus du four et espacés de 30 centimètres dans la direction horizontale et dans le sens vertical, de manière à ce que l'on puisse les ouvrir tous en même temps.

L'expérience a appris qu'une même masse de liquide se clarifie beaucoup plus rapidement par dépôt des matières en suspension si elle se trouve dans un seul récipient que si elle est répartie dans plusieurs récipients de petites dimensions. Les particules solides ont

d'autant plus de tendance à se rassembler et à se précipiter au fond qu'elles sont plus nombreuses. Les réservoirs à décantation doivent donc être choisis aussi grands que possible, et leur hauteur doit être égale à quatre ou cinq fois la plus grande dimension de leur section, toutes les fois que cela est possible.

Le temps exigé pour la clarification d'un liquide donné ne peut être déterminé que par l'expérience. Si le liquide est visqueux à la température ordinaire, il peut être avantageux de pouvoir le chauffer légèrement, de façon à augmenter sa fluidité et à hâter le dépôt des particules solides en suspension.

Les variations de température gênent la marche de la décantation ; aussi est-il préférable, dans la majorité des cas, de maintenir le liquide à clarifier dans une enceinte à température constante. La clarification commence toujours par la partie supérieure du liquide et progresse de haut en bas en accélérant sa vitesse, sous l'influence de la pression exercée par le liquide surmontant le précipité. Pour profiter de cette circonstance, il est à recommander de ne pas effectuer l'écoulement du liquide au fur et à mesure de sa clarification, mais, au contraire, d'attendre que le dépôt soit parfaitement rassemblé à la partie inférieure.

Certains liquides troubles ne peuvent jamais être clarifiés par décantation, quel que soit le temps que l'on prolonge le repos. Telles sont, par exemple, les solutions alcooliques de gomme-laque. Dans ce cas, il est indispensable d'avoir recours à la filtration.

La décantation permet également de séparer les liquides de poids spécifiques différents, à la condition, toutefois, qu'ils ne soient pas solubles l'un dans l'autre. Le récipient florentin permet d'effectuer cette séparation avec la plus grande facilité.

La décantation s'applique surtout aux liquides ne renfermant qu'une faible proportion de matières solides en suspension. Toutes les fois que cette proportion est un peu élevée et que l'obtention de la matière solide forme le but de l'opération, on a recours à la filtration. Les appareils employés dans l'industrie chimique sont les filtres-presses et les filtres à vide. La filtration peut d'ailleurs être précédée d'une décantation ayant pour objet de séparer, au préalable, une partie du liquide et, par suite, de diminuer le volume de liqueur à faire passer au filtre-pressé.

FILTRES-PRESSES

Les filtres-presses constituent les appareils les plus pratiques et les plus employés pour la séparation des liquides d'avec les solides par filtration.

Un filtre-presse est constitué par un ensemble de chambres filtrantes closes et placées entre deux plateaux de fonte très résistants. L'un de ces plateaux est fixe, l'autre est mobile; ce dernier peut être, ainsi que les plateaux ou cadres intermédiaires, déplacé latéralement sur deux traverses horizontales.

On tend des tissus filtrants entre les chambres, lesquels assurent à la fois la filtration du liquide et l'étanchéité de chacun des joints entre les bords externes des plateaux.

L'ensemble est fortement pressé au moyen d'une vis, d'un levier ou même d'une presse hydraulique et forme alors une succession d'espaces vides et clos communiquant entre eux, dans lesquels on envoie le liquide à filtrer sous pression. Cette pression peut être obtenue au moyen d'une différence suffisante de niveau, d'une pompe, d'un monte-jus, et, sous son influence, le liquide traverse le tissu filtrant et s'écoule, tandis que les particules solides restent à l'intérieur entre les plateaux et s'y moulent en gâteaux (tourteaux), épousant exactement la forme intérieure des chambres et plus ou moins compacts suivant la pression employée et la nature de la matière qui les forme.

Nous compléterons cette description générale par le schéma ci-après reproduisant le détail des différents éléments d'un filtre-presse du modèle le plus simple. La figure 225 représente un plateau en bois ABCD, composé d'un cadre épais dans lequel est enchâssé un panneau E d'une épaisseur sensiblement moindre. L'intervalle libre formé par le rapprochement de deux plateaux semblables constitue une des chambres de filtration. Chaque plateau est percé d'un trou en son centre, destiné à faire communiquer les chambres successives. Un trou percé dans l'épaisseur du cadre R sert à l'écoulement du liquide filtré. Les faces du panneau intérieur ne sont pas planes : elles sont sillonnées de rai-

nures verticales destinées à permettre l'écoulement du liquide clair.
La coupe suivant MN (fig. 225) rend compte de leur disposition ; ces

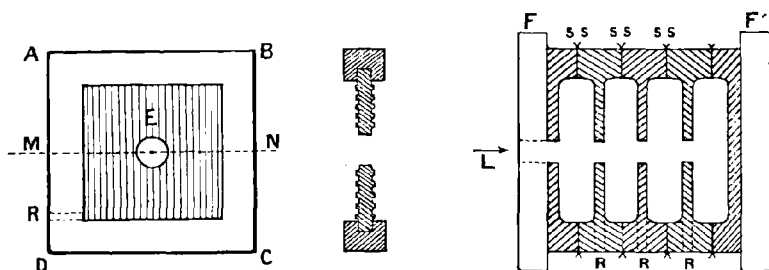


FIG. 225.

rainures étant assez profondes et à angles vifs, le tissu filtrant ne peut venir en contact avec toute la surface du bois. Les plateaux

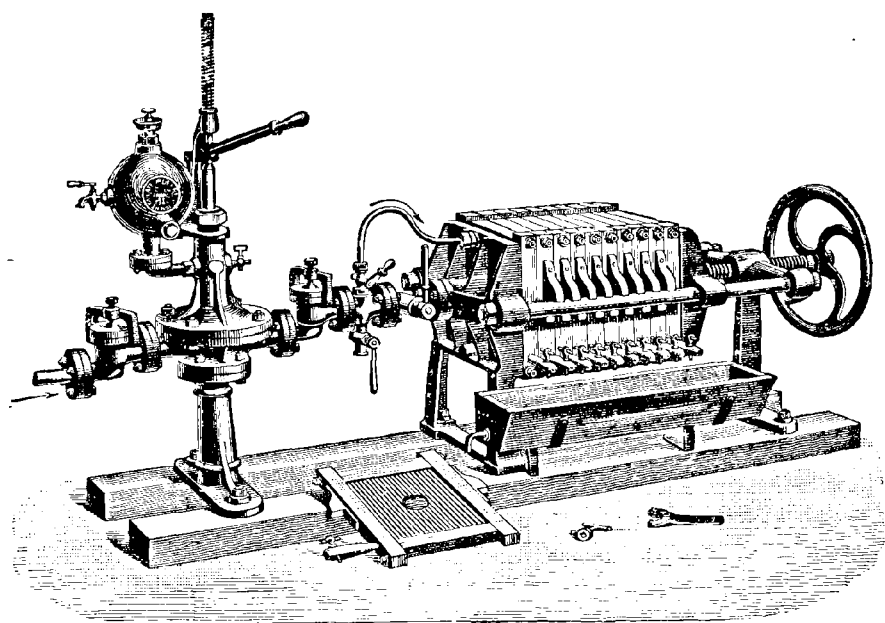


FIG. 226.

extrêmes présentent la même disposition avec cette seule différence que le cadre ne fait saillie que sur l'une des faces du panneau.

Les plateaux sont recouverts sur leurs deux faces par le tissu filtrant ;

les deux toiles recouvrant les deux faces d'un même plateau sont percées en leur centre et réunies par un tuyau en toile très court, ayant comme longueur l'épaisseur du panneau. Les différents plateaux sont ensuite assemblés, comme le montre la figure 226, entre les deux plateaux en fonte F et F' (*fig.* 225) et fortement serrés. L'examen de l'ensemble montre que l'on obtient ainsi une série de chambres filtrantes réunies par un conduit central. Les parois de ces chambres sont entièrement revêtues par le tissu filtrant SS ; celui-ci dépasse et se trouve fortement pressé entre les cadres de deux plateaux voisins, constituant ainsi un joint parfait, une fois que le tout a été serré par l'intermédiaire des plateaux en fonte.

A ce moment, on envoie le liquide à filtrer par le conduit L ; celui-ci se répand dans les différentes chambres. Sous l'influence de la pression, le liquide clair traverse les tissus filtrants ; il passe entre ce tissu et les plateaux, grâce aux rainures ménagées sur la surface de ceux-ci, et s'écoule par les orifices R, R', R'', munis d'un robinet. La matière solide s'accumule peu à peu dans les chambres et finit par les remplir complètement. A ce moment, on la fait tomber en desserrant les plateaux après avoir interrompu l'arrivée de liquide.

Les filtres-presses sont de deux sortes, suivant leur mode de construction :

1° Filtres à chambres, dans lesquels l'espace réservé à la formation des tourteaux est simplement formé par les rebords saillants de deux plateaux voisins. Il en résulte que la matière tombe d'elle-même dès que l'on ouvre le filtre-presse ;

2° Filtres à cadres : entre deux plateaux voisins se place un cadre dont l'épaisseur forme celle du gâteau de matière. On peut donc enlever celle-ci en même temps que l'on enlève les cadres.

L'introduction de la matière se fait par le centre des chambres dans les filtres du premier genre et par un côté latéral dans les filtres à cadres. L'épaisseur des tourteaux varie entre 20 et 30 millimètres ; elle peut être augmentée pour les substances faciles à filtrer et doit être diminuée pour les substances dont la filtration est pénible.

Une fois la substance filtrée, on a souvent besoin de la débarrasser par lavage, au moyen d'un liquide approprié (eau, acide dilué, alcali, benzine, alcool), du liquide qu'elle retient encore par capillarité. Ce lavage s'effectue pendant que la substance est encore dans le filtre-

presse; il peut avoir pour but d'obtenir un produit pur et exempt de matières dissoutes dans le liquide où il se trouvait en suspension ou bien encore de récupérer le liquide retenu par la matière.

Suivant le but à atteindre, le lavage se fait de deux façons. On peut à la fin de l'opération envoyer dans le filtre-pressé le liquide laveur par le même moyen qui servait à envoyer le liquide à filtrer. Cette eau de lavage suit alors le même trajet que ce dernier et s'écoule comme lui dans la gouttière, d'où on la dirige soit à l'égout, soit dans un récipient spécial. Le lavage ainsi réalisé est très imparfait; sous l'influence de l'accroissement de pression nécessaire, il se crée dans

la matière, aux points de moindre résistance, des canaux par lesquels l'eau passe sans imbiber toute la masse, comme il serait indispensable.

Le lavage plus parfait, dit lavage absolu, procède différemment. Chaque plateau est percé de deux canaux servant l'un à l'introduction du liquide par la partie inférieure, l'autre à son écoulement par la partie supé-

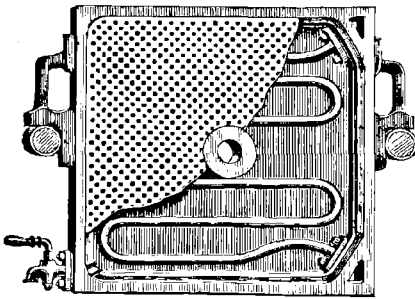


Fig. 227.

rieure. Le liquide arrivant par le premier canal traverse le premier tissu filtrant, puis le tourteau, et enfin le deuxième tissu filtrant pour arriver au bas du plateau suivant. Pendant cette opération les robinets d'écoulement sont fermés.

Dans des cas spéciaux, il est nécessaire de maintenir le liquide chaud pendant la filtration; dans d'autres, il est nécessaire de le refroidir. Ces résultats s'obtiennent en disposant à l'intérieur des plateaux une circulation d'eau chaude, de vapeur ou d'un liquide refroidi. Cette circulation se fait de telle façon qu'il n'y ait pas contact avec la substance à filtrer (*fig. 227*).

Les chambres chauffables s'emploient pour les substances qui ne peuvent être filtrées qu'à l'état fondu (cire, cérésine, paraffine) ou pour les liquides devant contenir en dissolution un corps cristallisant à basse température (séparation de la stéarine d'avec la margarine, clarification des huiles).

Le figure 228 représente les dispositions les plus courantes adoptées par la maison Schutz de Wurzen. A est le canal d'introduction de la matière; B, le canal de lavage; C, l'écoulement du liquide filtré; et D, celui de l'eau de lavage. On a prévu ici seize cas différents, savoir :

1° Écoulement du filtrat libre, sous pression ou par robinets;

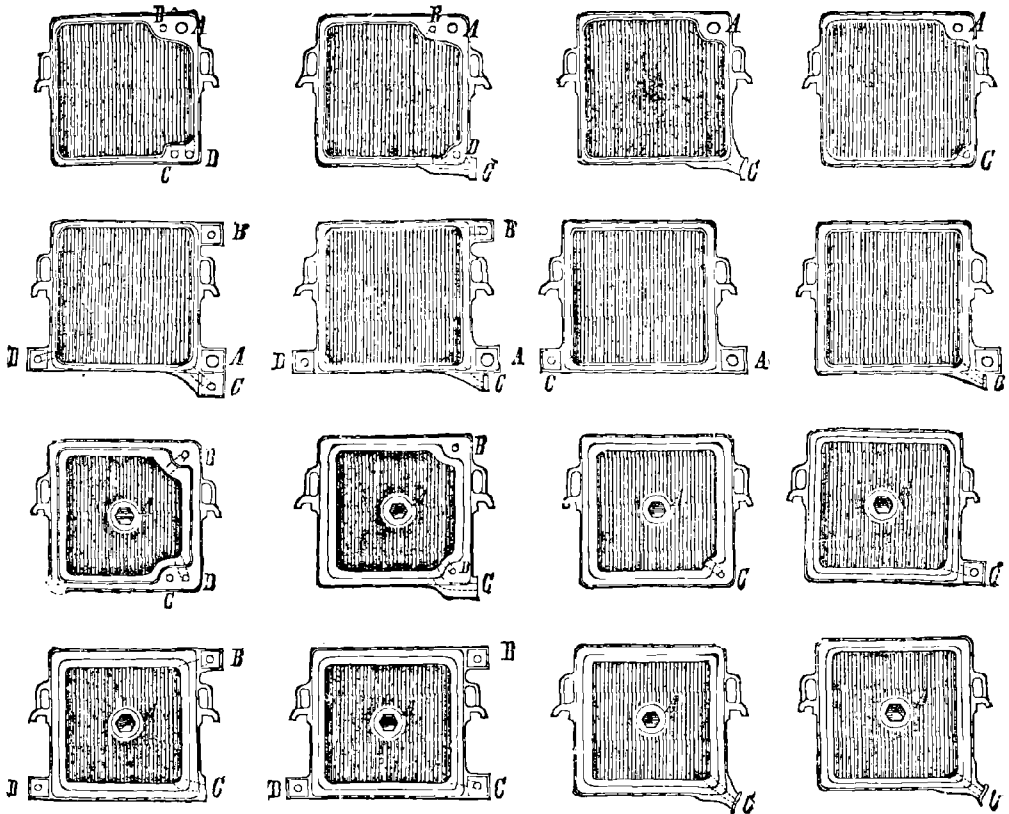


FIG. 228.

- 2° Filtre avec ou sans dispositifs de lavage ;
 - 3° Introduction normale du liquide à filtrer par l'une des extrémités de la série des chambres filtrantes ;
 - 4° Introduction du même liquide en plusieurs chambres différentes.
- Ces deux dernières différences n'ont d'intérêt que celui du bon usage des serviettes de tissu filtrant. Dans le cas de l'introduction dite nor-

male de la matière, tous les canaux se trouvent à l'intérieur des plateaux filtrants, et les serviettes doivent être percées de trous à l'endroit correspondant à leur orifice. Tandis que, lorsque ces canaux sont disposés en dehors des serviettes, celles-ci n'ont pas besoin d'être percées, ce qui augmente considérablement leur durée. Les orifices disposés sur les prolongements des plateaux sont recouverts de sacs en tissu filtrant de même qualité que les serviettes, percés de trous et leur rapprochement assure la fermeture hermétique du canal.

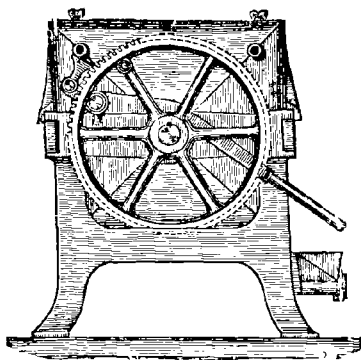


FIG. 229.

Les plateaux filtrants et les cadres sont confectionnés en fer ou en fonte toutes les fois que la nature du liquide à filtrer le permet. Pour les liquides acides et tous ceux qui

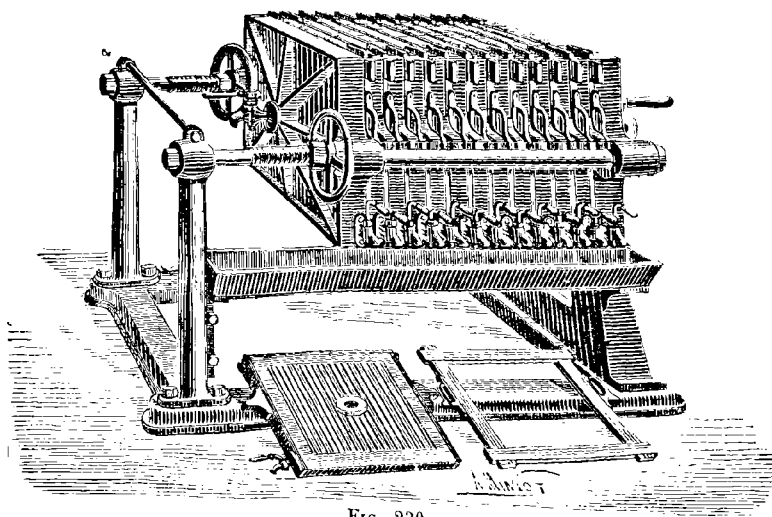


FIG. 230.

attaquent le fer, il est nécessaire d'avoir recours au bois résineux, au plomb durci, ou de protéger les plateaux en fer par un revêtement de plomb, d'étain ou d'ébonite. Si les liquides sont en même temps très chauds, le bronze est la matière la plus avantageuse.

Le dispositif employé pour obtenir la pression nécessaire à l'étanchéité des joints, malgré la pression du liquide envoyé dans le filtre-pressé, est différent suivant la grandeur des plateaux et l'espace dont on dispose.

Les dispositifs de serrage à vis (*fig. 229, 230 et 231*) sont les plus anciens et les plus employés jusqu'à aujourd'hui pour les filtres dont

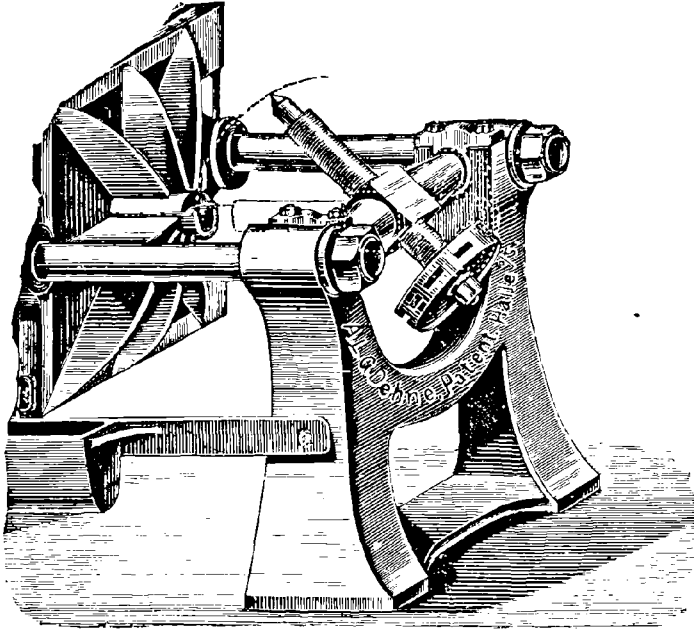


FIG. 231.

les plateaux ont 700 à 1.000 millimètres de côté. Dans certains modèles, chacune des traverses supportant les plateaux est filetée, et un volant formant écrou assure le serrage de chaque côté (*fig. 230*, modèle de la maison Leclair). Le volant est d'abord tourné à la main, et, lorsque l'effort à faire devient trop grand, on emploie une clef à long manche s'adaptant sur une embase à six pans ; le serrage obtenu est très énergique, mais il peut être irrégulier si l'un des côtés est plus serré que l'autre, ce qui amène des fuites ou fatigue inutilement les plateaux et les serviettes. Le serrage central (*fig. 231 et 232*) évite ces inconvénients. La pression de la vis agit au centre du plateau mobile et se répartit uniformément. L'effort de l'ouvrier est multiplié, soit au moyen d'engrenages, soit au moyen d'un levier ou d'un

cliquet agissant sur la périphérie du volant de manœuvre, lequel est denté (*fig. 229*).

Certains ateliers de construction, Schutz de Wurzen, par exemple, rendent le plateau mobile solidaire de la vis, ce qui permet de l'avancer ou de le reculer aussi aisément.

La maison Dehne monte la vis de serrage sur un axe horizontal

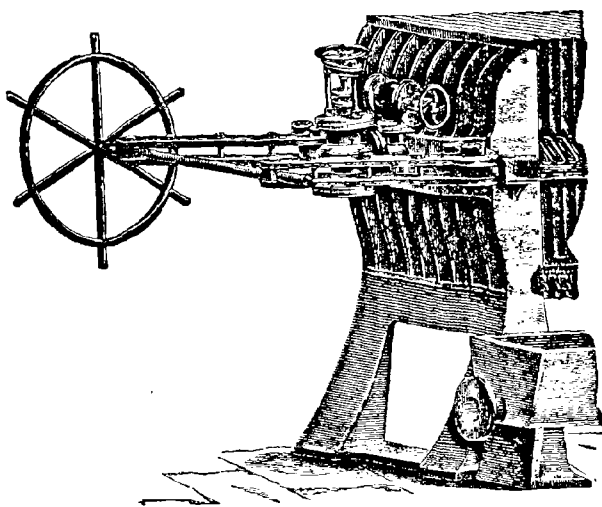


FIG. 232.

(*fig. 231*) ; cette disposition permet d'effectuer très rapidement la fermeture et l'ouverture du filtre, puisqu'il suffit de quelques tours de vis pour dégager la pointe du logement dans laquelle elle vient s'encasturer.

Les fermetures à levier (*fig. 232*) emploient un levier coudé à bras inégaux dont le point de rotation se trouve sur

le plateau fixe. Les petits bras du levier sont fixés aux traverses et les grands bras peuvent être rapprochés au moyen d'une vis à pas contraires manœuvrée par un volant à main. En faisant tourner ce volant, on rapproche (ou l'en éloigne) les deux grands bras des leviers et l'on comprime les uns contre les autres les différents plateaux. Ce système de fermeture est employé par la maison Dehne pour les plus grands modèles de filtres. L'effort exercé sur le volant peut être considérablement multiplié (jusqu'à 1.500 fois), et un seul homme peut ainsi effectuer la manœuvre nécessitée par les plus grands appareils.

La maison Schutz de Wurzen utilise pour ces mêmes dimensions d'appareils une fermeture par pression hydraulique. Un manomètre permet dans ce cas de contrôler la pression obtenue et de ne pas dépasser le maximum nécessaire.

Les filtres-presses à plateaux et ceux à cadres possèdent chacun

leurs inconvénients et leurs avantages que nous allons indiquer.

Dans les premiers, l'étanchéité de tous les joints est assurée par le contact de deux serviettes voisines. Dans les filtres à cadres, une seule

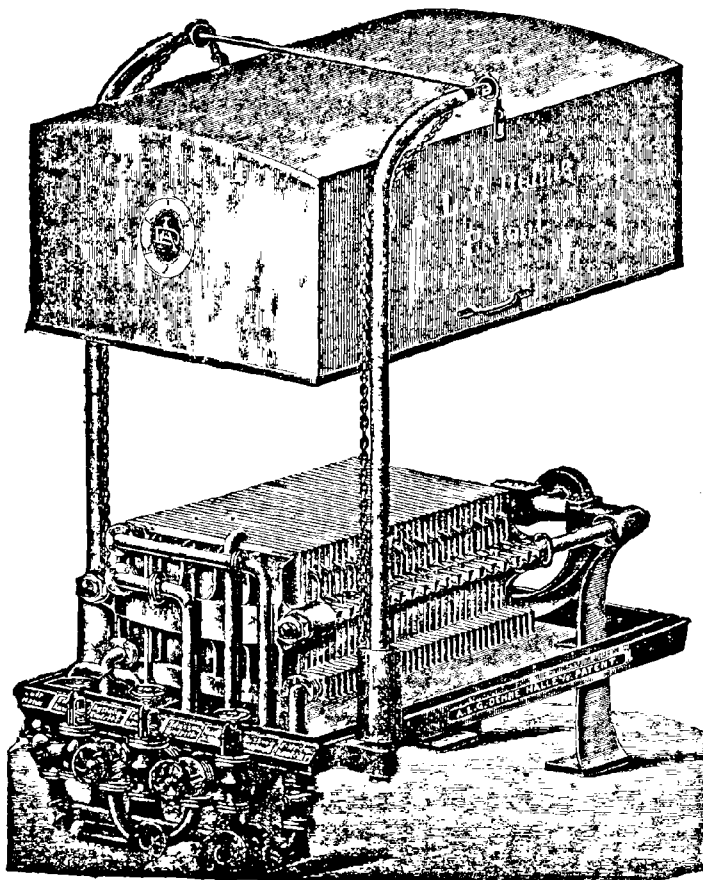


FIG. 233.

épaisseur de tissu faisant joint, l'étanchéité est plus difficile à obtenir, et il est nécessaire de débarrasser à chaque fois les bords des cadres de la matière qui peut y être restée adhérente, ce qui n'est pas nécessaire dans l'autre système.

Les plateaux sont plus robustes que les cadres et ont une durée beaucoup plus grande; en outre, l'ouverture ménagée dans leur

centre est de dimensions telles qu'elle ne peut jamais être obstruée par les matières solides. Cet inconvénient se manifeste fréquemment avec les canaux étroits dont sont munis les cadres, et il arrive fréquemment que l'on trouve plusieurs cadres vides au moment de l'ouverture de l'appareil.

Le principal désavantage des presses à plateaux se trouve dans le mode d'ajustement des serviettes compliqué et coûteux. Il faut leur laisser le temps de se rétrécir avant de les percer aux endroits voulus et de les fixer aux plateaux. Cet inconvénient disparaît dans le cas des filtres à cadres, car les serviettes restent d'une seule pièce et sont simplement tendues sur les plateaux. En outre, les tourteaux de matière obtenus à l'aide de cadres sont d'une seule pièce, tandis que dans les plateaux simples ils sont perforés au centre et ne peuvent être obtenus en un seul morceau.

Pour la filtration des corps volatils (éther, alcool, benzine) dont les vapeurs seraient un danger d'incendie et une perte sensible, on dispose un plateau horizontal au-dessous des chambres (*fig. 332*) ; ce plateau porte une rainure circulaire dans laquelle vient s'emboîter un couvercle métallique. Cette rainure, étant remplie d'eau, permet de réaliser un joint hydraulique parfait. On évite ainsi toutes les pertes de liquide, soit par évaporation, soit par défaut des joints. Les vapeurs rassemblées dans le couvercle peuvent être recueillies et condensées ou absorbées.

Dans le cas où l'on se trouve en face de liquides très difficiles à filtrer clairs, en raison de la finesse des particules solides qu'ils tiennent en suspension et lorsque cette clarification ne peut être obtenue au moyen d'un tissu filtrant, on peut remplacer celui-ci par une couche de sable, de charbon, etc. Cette couche filtrante est formée à l'intérieur même du filtre, sous forme de gâteaux verticalement disposés. Pendant la formation de ces gâteaux, le filtre-pressé est composé comme le montre la figure 234 : entre deux plateaux *b, b*, sont intercalés deux cadres *a, a*, formant chacun l'épaisseur de la couche de matière filtrante, et au centre un plateau *c* assurant l'écoulement du liquide dans lequel la masse filtrante est délayée. Les plateaux *b, b*, et *c, c*, portent sur chacune de leurs faces une tôle perforée.

L'appareil étant ainsi disposé, on envoie dans les filtres la matière filtrante délayée dans l'eau. Quand il est bien garni, on enlève les

plateaux *c, c*, et on les remplace par des cadres vides *d, d*. Le filtre est alors prêt à fonctionner (*fig. 235*).

- Le liquide à filtrer envoyé dans les cadres *d* y abandonne les particules qu'il tenait en suspension et ressort clarifié, après avoir filtré à travers les couches de sable ou de charbon.

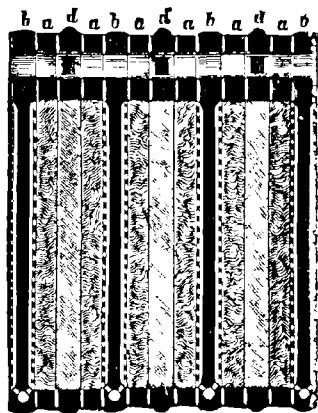


FIG. 234.

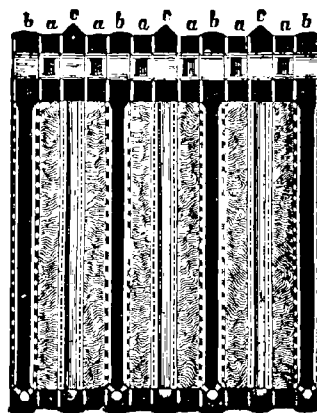


FIG. 235.

Ces filtres peuvent être construits en bois, en fonte et avec ou sans dispositif de lavage.

Enfin, dans certains cas spéciaux (filtration des huiles par exemple), on remplace avantageusement les tissus filtrants ordinaires par du papier-filtre très résistant et fabriqué spécialement pour cet usage.

Pour les essais de laboratoire, on emploie des filtres à plateau horizontal. Le tourteau peut être reliré en entier, même lorsqu'il est incomplet, et la filtration reprise, s'il est nécessaire.

APPAREILS DE FILTRATION PAR LE VIDE

Lorsque l'on se trouve en présence d'une filtration aisée, et pour laquelle il n'est pas nécessaire de recourir à la forte pression que l'on peut obtenir dans les filtres-presses (8 à 10 atmosphères dans certains

cas), on emploie avantageusement les appareils de filtration par le vide. Leur simplicité de construction abaisse considérablement les frais de première installation. En outre, ils permettent de filtrer de grandes quantités de liquide avec une main-d'œuvre réduite.

Ces appareils sont basés sur le même principe que les entonnoirs à filtration par le vide employés dans tous les laboratoires. Ils se composent d'un réservoir demi-cylindrique C surmonté d'un rebord A. Ces deux parties sont boulonnées l'une sur l'autre, et le joint est rendu

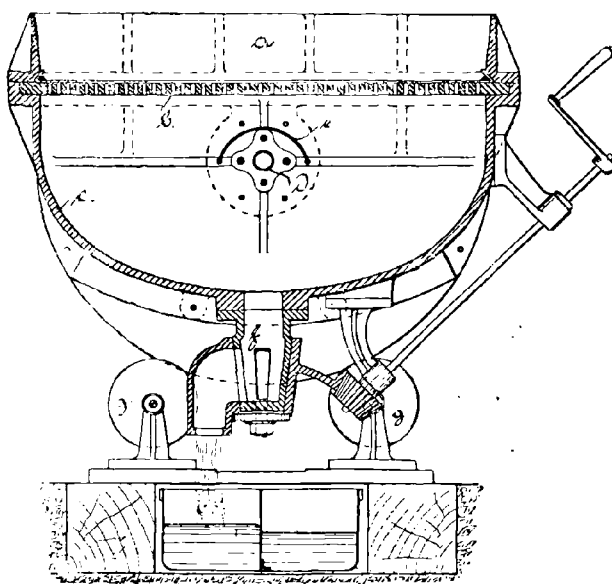


FIG. 236.

parfaitement étanche. Le demi-cylindre est fermé à sa partie supérieure par une plaque de métal perforée de trous sur laquelle on dispose un tissu filtrant, feutre, coton, amiante, etc. Un tube perforé D débouche juste au-dessous de la plaque filtrante ; il est protégé des particules de liquide qui pourraient y pénétrer au moyen d'une plaque de tôle E ; ce tube sert à faire le vide dans l'appareil au moyen d'une pompe (fig. 236).

La partie supérieure de l'appareil A est d'abord remplie de liquide, après quoi on met la pompe à vide en marche, en augmentant très progressivement le vide atteint. Il importe de ne pas faire l'inverse

pour éviter que les pores du tissu ne soient obstrués, ce qui ralentirait considérablement la filtration. Il arrive assez fréquemment que le liquide passe trouble au début, mais il devient parfaitement clair dès que la pression atmosphérique a exactement appliqué le tissu sur la toile perforée et qu'il s'est recouvert d'une légère couche de substance. Il est pratique et avantageux dans certains cas, de maintenir la masse à filtrer en mouvement continu, par agitation modérée. On évite ainsi que la couche de matière déposée sur le filtre et tendant à ralentir la filtration ne s'accroisse trop rapidement en empêchant la majeure partie du précipité de se déposer.

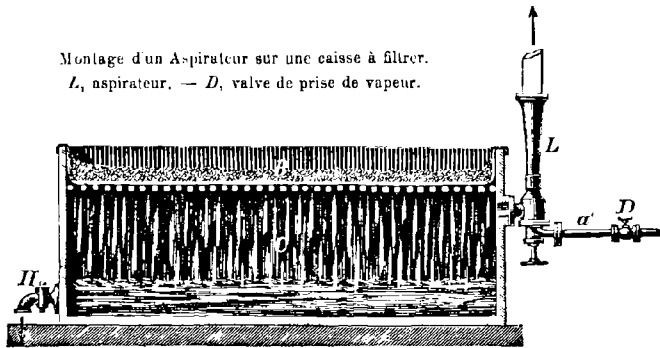


FIG. 237.

Il est bon d'intercaler entre le tube d'aspiration D et la pompe un récipient de sûreté, qui recueillerait le liquide aspiré dans le cas d'un défaut de surveillance, ce qui entraînerait à un nettoyage de la pompe et à une perte de substance.

Une solution très avantageuse et très pratique est celle qui consiste à faire le vide dans l'appareil au moyen d'un aspirateur à jet de vapeur. La figure 237 représente le montage d'un aspirateur Koerting sur une caisse à filtrer; l'arrivée de vapeur est réglée par la valve D.

Le vide ainsi obtenu est très largement suffisant, car, étant donné les rentrées d'air inévitables à travers la couche de matière, il importe beaucoup plus d'enlever un grand volume d'air en peu de temps que de chercher à obtenir un vide très avancé.

Le liquide se rassemble dans le récipient C, et on peut le faire écouler dès que la pression atmosphérique est rétablie dans l'appareil au moyen du robinet H. Certains appareils sont montés sur tourillons et

galets *g* (*fig. 236*), de façon à pouvoir être culbutés aisément; l'aspiration de l'air se fait alors par l'axe de l'un des tourillons qui est creux. Lorsque l'appareil a pris une position inclinée, la masse qu'il renferme tombe d'elle-même et peut être recueillie dans des wagonnets.

La filtration proprement dite étant achevée, on opère la dessiccation de la matière en continuant à faire le vide. Pendant la deuxième partie

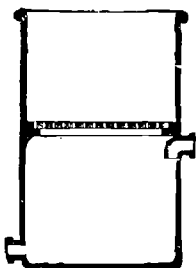


FIG. 238.

de l'opération, le liquide tombe goutte à goutte et la masse pâteuse diminuant de volume se fendille. L'air pénétrant par ces fentes et ces crevasses fait entendre un sifflement particulier. Si l'on veut pousser la dessiccation plus loin, il est nécessaire de boucher ces fentes au moyen d'une spatule en y ramenant la matière avoisinante. De cette façon on maintient dans l'appareil le vide nécessaire. Les tourteaux obtenus sont presque aussi secs qu'au filtre-presse; la proportion d'eau

qu'ils renferment peut être diminuée en prolongeant la dessiccation et en réduisant l'épaisseur de matière filtrée à chaque opération.

Celle-ci peut être lavée sur le filtre lui-même en filtrant à travers son épaisseur un liquide approprié, que l'on répartit uniformément au moyen d'un ajutage en forme de pomme d'arrosoir.

Pour la filtration des liquides acides, toutes les parties métalliques de l'appareil sont recouvertes d'une couche de plomb assez épaisse. L'appareil tout entier peut être construit en plomb antimonié. Enfin on construit également des appareils fixes en grès (*fig. 238*), pratiquement inattaquables à tous les acides. Dans certains cas, il est très avantageux d'employer comme couche filtrante la matière elle-même qu'il s'agit de séparer du liquide. Cet artifice ingénieux est susceptible de rendre service dans des cas difficiles à résoudre autrement.

PROCÉDÉS DIVERS DE FILTRATION

Pour la **filtration des acides**, on a proposé l'emploi de la porcelaine d'amiante en poudre très fine que l'on lave à l'acide chlorhy-

drique, puis à l'eau pure. La masse devenue plastique est cuite à 1.600° C. Après refroidissement, elle possède des pores très fins et peut être utilisée pour la filtration. Elle n'est attaquée par aucun des acides courants, même les plus énergiques. Elle peut également être utilisée à la filtration de l'eau, de l'huile, de la bière, du vinaigre, etc.

Les filtres à sable sont surtout employés pour la filtration de l'eau. L'eau traverse successivement plusieurs couches de graviers et de sable de différente grosseur, où elle abandonne les éléments solides qu'elle tenait en suspension. La filtration est assez lente; elle ne s'effectue que sous l'action du poids de la colonne d'eau qui surmonte la couche de sable, mais elle n'en est que plus parfaite. Si l'on veut réaliser une filtration plus rapide, il faut recourir aux filtres fonctionnant sous pression, tels que le filtre Jewell.

Lorsque l'eau est particulièrement difficile à filtrer et ne renferme qu'une

petite quantité de matières en suspension, on peut avoir recours au procédé de filtre à éponge recommandé par Dehne (*fig. 239*).

L'appareil nécessaire comprend deux réservoirs surélevés contenant, l'un, H, l'eau à filtrer, et l'autre, M, servant à effectuer le mélange de la matière filtrante (fibres d'amiante, cellulose) avec une assez grande quantité d'eau. L'appareil de filtration proprement dit F est disposé comme un filtre-pressé et contient une série de chambres dont les parois sont formées par des toiles mécaniques tendues.

On prépare d'abord dans l'appareil M une bouillie fluide de fibres de cellulose et d'amiante, et on la fait passer à travers le filtre où elle forme une série de couches de matières filtrantes entre les toiles métalliques. L'eau qui s'écoule pendant cette opération est rejetée. Lorsque les toiles métalliques sont tapissées de fibres de matière, on

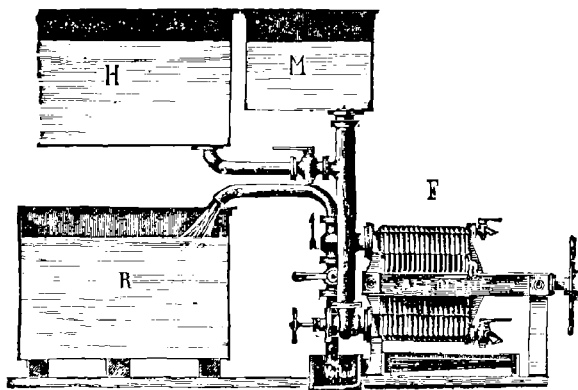


FIG. 239.

laisse couler à travers le filtre l'eau contenue dans le réservoir H. Elle y abandonne ses impuretés et coule parfaitement limpide en R. Lorsque la masse filtrante est fortement souillée d'impuretés et que la filtration est trop lente, on la sort du filtre et on la purifie par lavage.

SÉPARATION PAR CRISTALLISATION

Les sels se trouvant dans une solution diluée peuvent être obtenus de deux manières différentes, suivant la façon dont ils se comportent pendant l'évaporation. S'ils ont tendance à se précipiter à l'état cristallin, on concentre la solution dans de grands bacs plats du système Thelen (p. 216), et l'on pêche les cristaux au fur et à mesure qu'ils se précipitent. C'est le procédé employé pour l'obtention du chlorure de sodium en partant des eaux salées naturelles.

Lorsque le sel est très soluble à chaud et qu'il ne cristallise pas pendant l'évaporation, la solution est d'abord concentrée au degré nécessaire, puis envoyée dans des cristallisoirs où elle refroidit lentement. C'est le cas du sulfate de soude, du carbonate de soude, de l'alun, etc.

Les cristallisoirs sont des récipients ordinairement rectangulaires de hauteur variable, mais en général assez faible. Ils sont munis d'une ouverture placée à la partie inférieure et servant à l'écoulement des eaux mères.

En hiver, pour ralentir le refroidissement, les cristallisoirs peuvent être couverts. Dans certains cas, ils sont à doubles parois entre lesquelles on introduit de l'eau chaude de façon à ralentir le refroidissement par l'air et à diminuer la quantité de cristaux mal formés (croûtes) qui s'y attachent. C'est dans ce même but que l'on suspend dans le liquide des crochets en fil métallique (fer, cuivre, plomb, etc.), des lames de mêmes métaux, des baguettes de bois ou de simples ficelles. Ces divers artifices fournissent aux cristaux de nombreux points d'appui et régularisent la cristallisation.

Si l'on n'emploie pas ces dispositifs, les cristaux se forment sur les parois et le fond des cristallisoirs. L'eau qui les surmonte est siphonnée

ou décantée. On peut encore pêcher les cristaux au moyen d'une espèce de passoire dont les trous ne les laissent pas passer. Dans quelques cas, on préfère suspendre dans le liquide un récipient percé de trous dans lequel l'eau mère se rassemble et où l'on peut la pomper, la siphonner, etc.

On a parfois intérêt à réaliser industriellement la cristallisation troublée employée dans les laboratoires pour obtenir un corps très pur. Il suffit de refroidir rapidement et en agitant une dissolution chaude

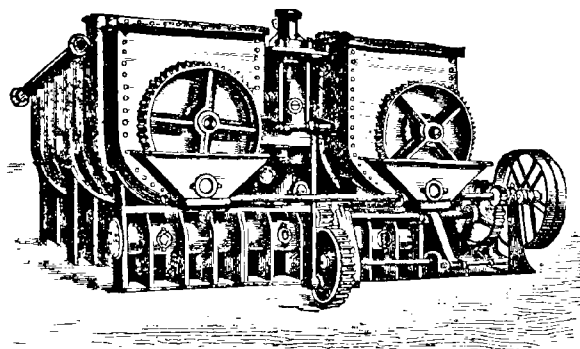


FIG. 240.

et concentrée d'un sel plus soluble à chaud qu'à froid. Ce problème est résolu par l'appareil représenté figure 240. Les bacs à cristallisation sont à doubles parois refroidies par circulation d'eau. Un agitateur maintient le liquide constamment en mouvement, la cristallisation du sel s'effectue très rapidement et le mélange de petits cristaux et de liquide est envoyé au moyen d'une pompe dans uneessoreuse centrifuge ou un appareil de filtration par le vide, qui sépare les cristaux d'avec les eaux mères et les sèche.

Lorsque les moyens de séparation qui viennent d'être décrits ne peuvent être employés, il est nécessaire de précipiter le corps de sa dissolution au moyen d'un réactif approprié.

Quand il s'agit de séparer des particules fines d'avec d'autres plus grosses, les unes et les autres se trouvant en suspension dans un même liquide, on emploie un cylindre creux, dont la surface est formée par un tissu métallique serré et dont le fond est muni d'une ouverture.

Ce cylindre est plongé jusqu'à une certaine profondeur dans le

liquide à traiter et tourne lentement sur son axe ; les particules les plus fines traversent la toile métallique et sont recueillies par l'ouverture inférieure. Au contraire, les parties les plus grosses restent dans le récipient. Les séparations de ce genre se présentent souvent dans la fabrication du ciment.

PROCÉDÉS D'EXTRACTION

Le traitement des bois de teinture ou des écorces tannantes (chêne, pin, bois de québracho), en vue d'en extraire les principes actifs qu'ils renferment, matières colorantes ou tannin, constitue un mode de séparation des corps solides d'avec d'autres solubles. Pour cette raison, nous les décrivons ici.

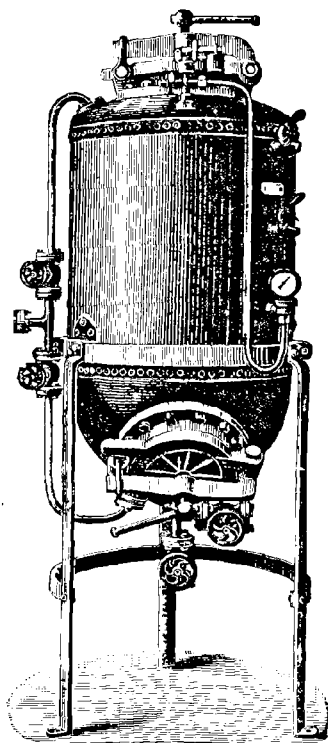


FIG. 241.

Le procédé par diffusion est depuis longtemps reconnu comme le plus avantageux, car le rendement obtenu est très satisfaisant, et en outre la disposition de plusieurs appareils à la suite les uns des autres fournit des dissolutions à haute concentration. Le bois à traiter est débité en copeaux, au moyen de sections perpendiculaires au sens des fibres et puis traité par l'eau sous pression plus ou moins élevée dans des appareils à fermeture autoclave. Lorsque l'opération est terminée, le liquide est chassé de l'appareil au moyen d'une pression de vapeur, d'eau ou d'air comprimé.

Quand la pression nécessaire est de plusieurs atmosphères, on ne peut employer la vapeur, dont la température élevée exercerait une action nuisible sur les qualités des

matières colorantes ou tannantes. Cependant une pression élevée est souvent nécessaire pour remplir d'eau les cellules primitivement pleines des substances à extraire; aussi a-t-on recours dans ce cas à une pression d'eau ou d'air.

La figure 241 représente un extracteur basé sur ces principes.

On groupe en batterie un plus ou moins grand nombre d'appareils semblables suivant que l'on veut obtenir une dissolution plus ou moins

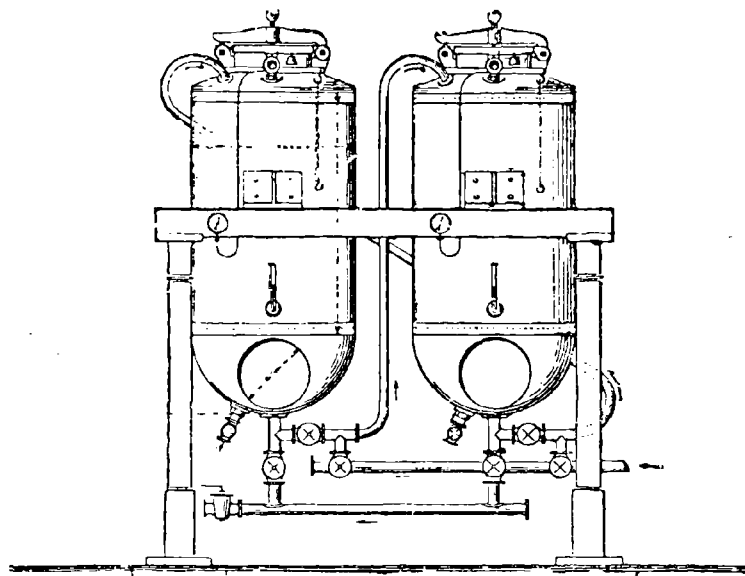


FIG. 242.

concentrée. La tuyauterie reliant les différents éléments de la batterie est disposée de telle façon que chacun d'eux peut être isolé ou mis en relation avec n'importe lequel des autres.

Chacun de ces appareils peut être fixe ou monté sur un axe horizontal; il est constitué par un cylindre vertical possédant une ouverture supérieure pour le remplissage et une ouverture inférieure pour l'enlèvement des résidus. Cette dernière est disposée latéralement de façon à faciliter l'opération. Le fond, porte en outre; des ouvertures pour l'introduction de l'eau et l'écoulement de la dissolution. Un tuyau de vapeur amène celle-ci sous un faux fond percé de nombreux trous, et sur cette même conduite de vapeur est branché un tube permettant de faire

arriver la vapeur dans la partie supérieure de l'appareil, en vue d'utiliser sa pression pour envoyer la dissolution dans un autre appareil. Chaque appareil est muni d'un manomètre, d'un thermomètre et de deux robinets permettant de juger de la hauteur occupée par la solution et de sa concentration.

Lorsque les appareils sont réunis en batterie (*fig. 242 et 243*), ils sont réunis de façon telle que l'on puisse envoyer le liquide du dernier élément dans le premier rempli de matière fraîche, ce qui assure l'obtention d'une dissolution aussi riche que possible. Le dernier appareil ainsi vidé est rempli d'eau pure, et, la solution, ayant été en contact avec les matières fraîches recueillies, on procède ainsi à un épuisement méthodique.

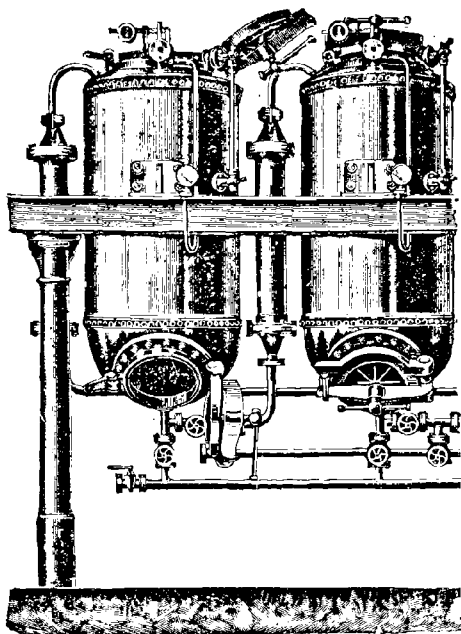


FIG. 243.

Pour éviter les inconvénients dus à l'action de la vapeur directe sur la solution, on interpose sur le trajet qu'elle fait pour aller d'un appareil à l'autre un

réchauffeur se composant d'un faisceau de tubes dans lesquels circule la vapeur. L'eau nécessaire à l'extraction ainsi que la solution elle-même sont ainsi portées à la température nécessaire. Il est avantageux de recueillir l'eau de condensation provenant de chacun des réchauffeurs et de l'ajouter à l'eau introduite dans le premier appareil, de façon à utiliser son calorique.

L'interposition de ces réchauffeurs évite toute décomposition des matières extraites et toute cause d'explosion des appareils. En outre, on peut régler très commodément la température du liquide traversant chacun des réchauffeurs, et l'eau de condensation, étant recueillie à part, ne vient pas diluer inutilement les dissolutions obtenues.

Un autre avantage de cette disposition est de permettre à l'appareil de travailler d'une façon continue en introduisant juste autant d'eau que l'on fait écouler de solution. Il est bien évident que la marche des appareils peut aussi être interrompue ou rendue périodique.

Lorsque l'appareil est mobile sur un axe horizontal, la même ouverture peut servir à l'introduction et à l'enlèvement de la matière. Dans ce cas, l'amenée de vapeur et l'écoulement de la solution s'effectuent par les axes de suspension, qui sont creux. L'appareil est muni d'un double fond perforé qui retient les matières solides et les laisse égoutter sous l'action de la pression de vapeur qui les surmonte.

Les appareils extracteurs basés sur l'emploi d'un dissolvant volatil (benzine, sulfure de carbone, alcool, etc.) sont construits différemment. On les emploie pour l'extraction des corps insolubles dans l'eau, tels que graisses, huiles, résines, soufre, matières colorantes, etc. La figure 244 représente un de ces appareils permettant d'opérer l'extraction à la plus haute température possible, mais toutefois sans pression.

Le récipient C est pourvu d'un serpentín de vapeur Q et contient un réservoir L, dans lequel on introduit la matière à traiter par le trou d'homme D. Le dissolvant est contenu dans un récipient V muni d'un serpentín réfrigérant R et coule dans le réservoir L; dès qu'il atteint une certaine hauteur, le siphon Y s'amorce et fait passer la dissolution dans le récipient. Elle s'évapore; ses vapeurs lèchent les parois extérieures du réservoir C et échauffent son contenu, puis parviennent au réfrigérant à reflux S, où elles se condensent. Le liquide encore chaud retombe en pluie dans le réservoir L pour être de nouveau ramené en C, dès que le siphon s'amorce à nouveau.

Cette succession de phénomènes se reproduit indéfiniment. De temps à autre, on prélève un échantillon de matière en M pour s'assurer de la marche de l'opération. Lorsqu'elle est terminée, on arrête l'arrivée d'eau dans le réfrigérant S; les vapeurs de la solution s'écoulant de L en C sont condensées par le réfrigérant R, et le liquide qui en résulte est recueilli dans le réservoir V. Les dernières traces de dissolvant retenues par la matière extraite ou par le résidu sont chassées par l'action directe de la vapeur.

L'extrait est recueilli par W et l'appareil vidé par M. On peut rendre l'opération continue en réglant l'écoulement de la dissolution, de

façon telle que le niveau du dissolvant contenu en L reste constant.

Pour l'extraction des huiles essentielles, on emploie des appareils composés d'un alambic muni d'un double fond pour le chauffage

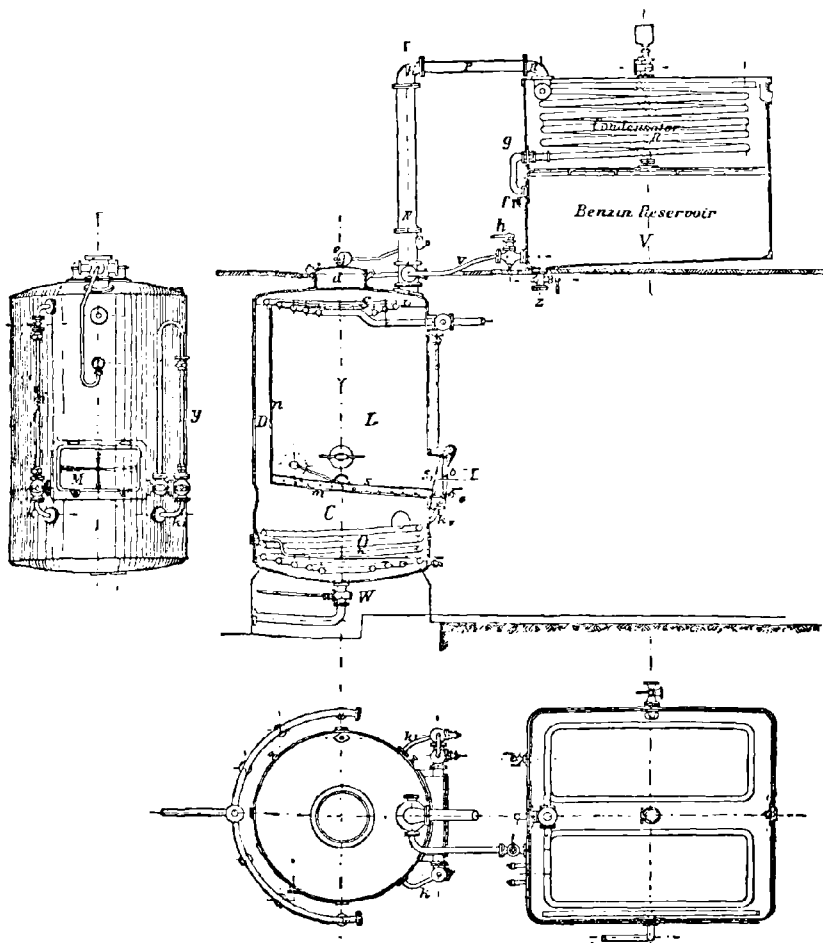


FIG. 244.

de la vapeur, d'un serpentin et d'un autre double fond perforé pour recevoir la matière à traiter (fig. 245).

Lorsque l'on chauffe, la vapeur entraîne les constituants volatils dissous et vient se condenser dans un serpentin placé dans un réfrigérant. Elle retourne à l'appareil par les parties inférieures de l'alam-

bic jusqu'à ce que l'on ait obtenu la teneur désirée en huile essentielle. A ce moment on recueille le liquide tel que.

Les appareils extracteurs sont généralement construits en cuivre. Cependant l'emploi des faisceaux réchauffeurs permet de les construire en bois, cet appareil évitant à ce dernier le contact direct de la vapeur. Le prix des appareils en bois est considérablement inférieur à celui des appareils en cuivre. La figure 246 représente deux des éléments d'une batterie de ce genre.

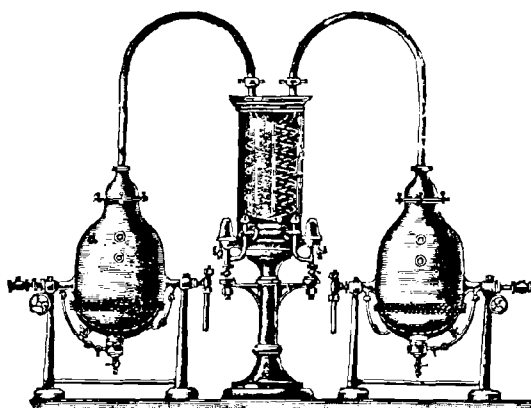


Fig. 245.

La sublimation est un mode de séparation des corps solides entre eux ou d'avec les liquides ; elle ne se distingue de la distillation que par le fait que les vapeurs se condensent immédiatement à l'état solide sans passer par l'état liquide. Les appareils employés étant analogues à ceux que l'on utilise pour la distillation, nous n'en donnerons pas une description spéciale.

SÉPARATION DES LIQUIDES

Le seul moyen pouvant être employé pour la séparation des différents liquides constituant un mélange homogène est la distillation. Si les liquides sont insolubles les uns dans les autres et possèdent des densités différentes, on peut opérer par simple décantation.

Tout appareil à distillation comprend trois parties : un récipient contenant le liquide à distiller, un réfrigérant pour la condensation des vapeurs et un réservoir pour recueillir le liquide distillé.

La distillation est dite simple, si l'on recueille dans un seul et même

réceptif le produit de la distillation ; elle est dite fractionnée, si ces produits sont répartis en différentes catégories suivant la période de distillation qui les a fournies (produit de tête, cœur, produit de queue).

L'alambic contenant le liquide à distiller peut affecter les formes les plus diverses et être construit en matières différentes suivant la

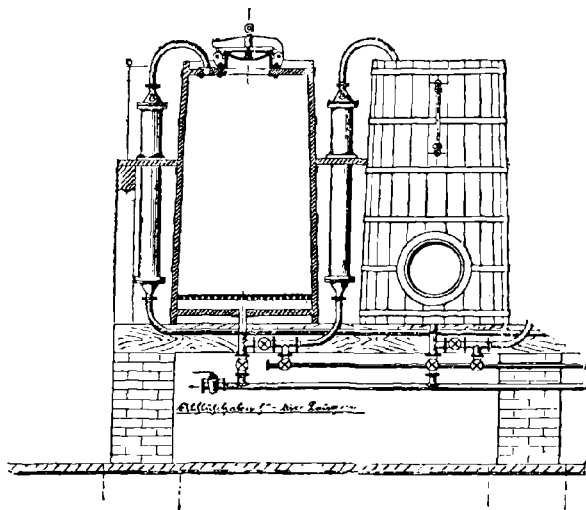


FIG. 246.

nature des produits distillés (fer, fonte, cuivre, aluminium, etc.). Le mode de chauffage est également très variable suivant les cas.

La figure 247 représente un appareil de distillation composé d'un alambic en fonte disposé dans un foyer en maçonnerie. L'alambic porte huit tenons venus de fonte qui prennent point d'appui sur une couronne circulaire maçonnée dans le foyer. Cette couronne porte huit ouvertures de grandeurs différentes destinées à permettre aux gaz chauds de s'élever dans le canal circulaire existant au-dessus et de lécher toutes les parois de la chaudière avant d'aller à la cheminée. Les ouvertures les plus étroites sont placées le plus près de la cheminée, et les plus larges en sont les plus éloignées. De cette façon, on évite que les gaz ne prennent le plus court chemin pour se rendre à la cheminée. La grille étant placée très bas et le mode de circulation des gaz évitant l'action nuisible des coups de feu, le fond de l'alambic et toutes ses parois baignées par le liquide sont régulièrement chauff-

fées, ce qui diminue la consommation de combustible et augmente la durée de l'appareil.

Beaucoup d'appareils à évaporation peuvent être facilement transformés en appareils distillatoires en les munissant d'un couvercle et y adaptant une tubulure permettant de diriger les vapeurs vers un condenseur ou un réfrigérant au lieu de les laisser dégager librement.

La figure 248 représente un appareil à distillation simple. Le fond de l'alambic est hémisphérique et contient un serpentín de vapeur (vapeur directe ou vapeur d'échappement).

Les parois de l'alambic sont cylindriques et il est surmonté d'un chapiteau prolongé par une tubulure qui dirige les vapeurs vers un réfrigérant. Ce dernier se compose d'un récipient cylindrique en tôle renfermant un serpentín qui reçoit les vapeurs à condenser. Le liquide condensé s'écoule par l'extrémité inférieure du serpentín. L'eau froide arrive par la partie inférieure du récipient et ressort, une fois échauffée, par la partie supérieure.

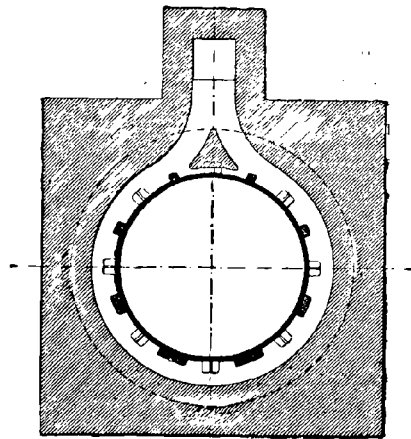
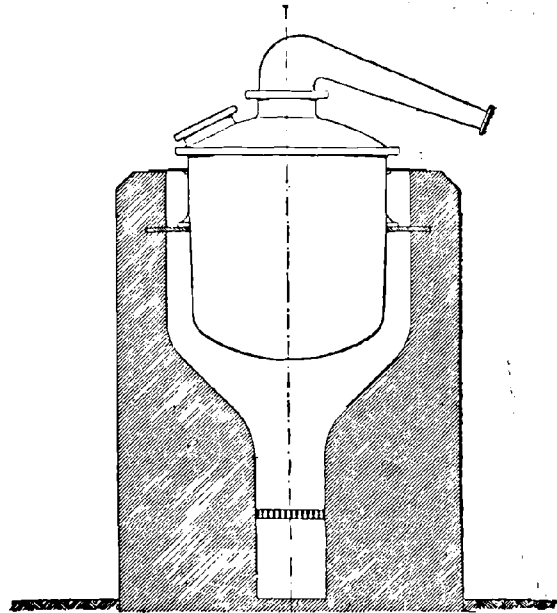


FIG. 247.

Lorsque les vapeurs émises par un liquide sont formées d'un mélange de vapeurs de différents corps qui ne diffèrent que par leurs points d'ébullition, il est nécessaire d'interposer une colonne de fractionnement avant d'envoyer les vapeurs au réfrigérant. Ce cas se présente

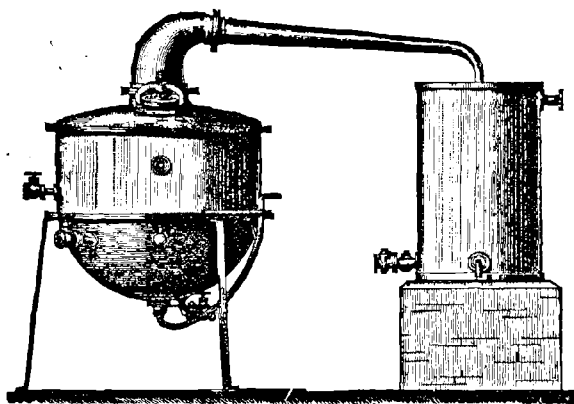


FIG. 248.

fréquemment dans la rectification de l'alcool, la distillation des huiles légères de goudron, etc.

La figure 249 représente un des appareils employés dans ce cas. Il se compose d'un alambic ayant la forme d'un cylindre horizontal portant sur la face antérieure un

large trou d'homme qui permet d'introduire ou de retirer le serpentin de vapeur servant au chauffage. Sa partie supérieure est munie d'un petit dôme et de l'appareil à colonne, on fait circuler dans le serpentin de la vapeur directe ou d'échappement; le liquide s'échauffe et émet des vapeurs plus riches que lui-même en éléments volatils. Ces vapeurs s'élèvent dans le dôme où elles se condensent partiellement; de là elles montent dans l'appareil à colonne qui est un cylindre vertical divisé en nombreux étages par des parois horizontales.

Les vapeurs s'élevant dans la colonne se condensent dans le liquide retenu par chaque cloison, et celui-ci émet des vapeurs plus riches encore en éléments volatils; pour que cet enrichissement en parties volatiles puisse s'effectuer, il est nécessaire que chacun des étages reçoive une certaine quantité de liquide particulièrement riche en éléments volatils.

Pour cela les vapeurs émises par le liquide contenu dans le plateau le plus élevé, lesquelles sont très riches en éléments volatils, pénètrent dans le condenseur où s'effectue une condensation partielle. La plus grande partie des vapeurs (et en particulier la totalité des substances les moins volatiles) est condensée, et le liquide qui en résulte

est ramené au plateau le plus élevé ; au contraire, les vapeurs qui ont résisté à la condensation continuent leur chemin et vont au réfrigérant qui les condense intégralement et fournit le produit fini.

Comme le retour du condenseur est très riche en éléments volatils et qu'il parcourt de haut en bas les différents plateaux de la colonne, il abandonne à chacun de ses passages sur ceux-ci ses éléments les plus volatils aux vapeurs ascendantes, tandis que les substances peu volatiles finissent par gagner le dernier plateau, d'où elles retournent à l'alambic.

Il résulte de cette succession de faits que seule la moitié ou le quart des vapeurs émises par le liquide parvient au réfrigérant ; le reste parcourt un cycle fermé par la colonne et le condenseur pour revenir de là à la colonne et à l'alambic. La température des vapeurs émises par chaque plateau reste constante, tandis qu'elle diminue d'un plateau à l'autre pour atteindre le minimum au plateau le plus élevé et y devenir très riches en éléments volatils.

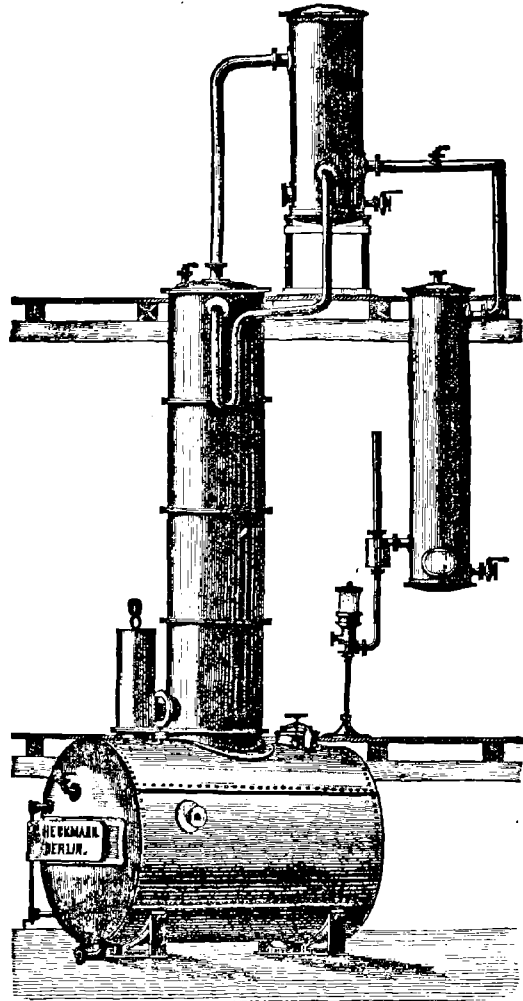


FIG. 249.

Il existe pour chaque mélange de liquide un rapport constant entre sa composition et celles des vapeurs qu'il émet.

Il ressort de ce qui vient d'être dit qu'une condition essentielle du bon fonctionnement de la colonne est que les vapeurs seules, à l'exclusion des liquides, puissent s'élever d'un plateau au plateau supérieur puisqu'il est nécessaire que la composition du liquide bouillant sur chacun des plateaux soit telle que les plateaux les plus élevés soient les plus riches en éléments volatils.

Les meilleures colonnes à rectification sont celles dans lesquelles il y a ascension des liquides. Deux modes de constructions seuls répondent à ces *desiderata* : ce sont les colonnes à plateaux perforés et les colonnes à cloches.

Les colonnes à plateaux perforés (*fig. 250*) sont constitués par de simples disques en tôle de fer ou de cuivre percés d'un grand nombre de petits trous et munis d'un tube de trop-plein r et d'une capsule destinée à recevoir l'extrémité du tube de trop-plein du plateau immédiatement supérieur. On suppose que le liquide provenant du plateau supérieur et amené près du bord, recouvre uniformément tout le plateau inférieur pour venir s'écouler vers le bord diamétralement opposé. Les plateaux à cloches (*fig. 251*) ne sont pas perforés comme les précédents ; ils portent de même un tube de trop-plein r et un godet recevant l'extrémité du tube de trop-plein du plateau supérieur ; ces deux parties sont séparées par une cloison verticale S destinée à assurer autant que possible que le liquide se répande uniformément sur toute la surface du plateau et à ce qu'il ne prenne pas le plus court chemin pour se rendre au tube de trop-plein voisin.

Pour passer d'un plateau à l'autre, les vapeurs doivent barboter dans le liquide. Ce résultat est obtenu en disposant sur chaque plateau des tubes de faible hauteur T que l'on recouvre d'une cloche renversée G . Les vapeurs doivent passer au-dessous des bords des cloches ainsi disposées, ce qu'elles ne peuvent faire sans barboter dans le liquide.

Les plateaux à cloches sont nettement plus avantageux que les plateaux perforés ; avec ces derniers, il arrive que, lorsque l'ébullition est très vive, il y a passage direct de gouttelettes de liquide d'un plateau à l'autre. Il en résulte le mélange des liquides de deux plateaux voisins, ce qui doit être évité, puisque l'on doit chercher à avoir le plus de

différence possible dans la composition des liquides de ces plateaux.

Au contraire, avec les plateaux à cloches, on est beaucoup moins exposé à voir l'entraînement de gouttes de liquide d'un plateau à l'autre, car elles viennent se briser sur la paroi pleine des plateaux et, en outre, la hauteur plus élevée du tube de trop-plein

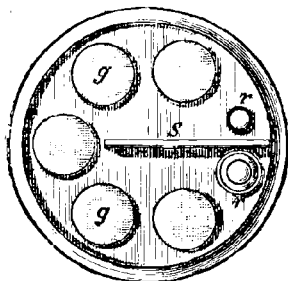
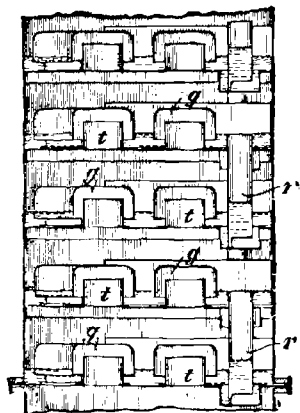


FIG. 250.

empêche facilement la chute des gouttes entraînées.

En outre, les plateaux à cloches bien construits fonctionnent sous une pression sensiblement plus faible que les plateaux perforés.

On sait que, lorsque l'on condense partiellement un mélange de vapeurs le liquide condensé possède une composition en relation constante avec celle des vapeurs restantes.

Les substances les moins volatiles se condensent les premières et en plus grande quantité. Les faits se passent exactement suivant cette loi dans le condenseur, et il en résulte que les vapeurs échauffées à

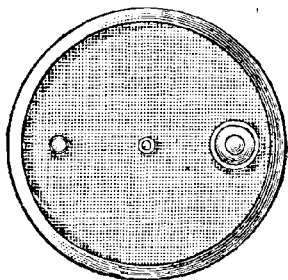
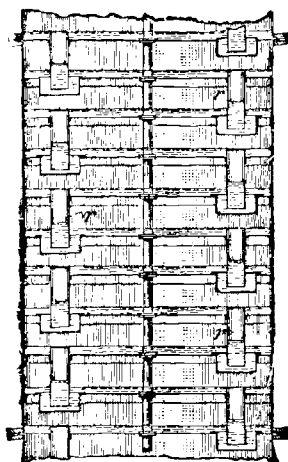


FIG. 251.

la condensation renferment un peu plus d'éléments volatils que les vapeurs primitives, tandis que le liquide condensé en renferme un peu moins.

La quantité de liquide devant faire retour aux plateaux à la sortie du condenseur doit varier avec les dimensions de la colonne et sa production. Aussi est-il nécessaire de pouvoir faire varier la quantité de chaleur enlevée aux vapeurs par le condenseur, cette quantité de chaleur déterminant nécessairement celle du liquide condensé. Si l'on rapporte la quantité de chaleur enlevée par le condenseur à l'unité de surface et à celle de temps, la quantité de vapeurs condensées devient proportionnelle à la différence de température entre la vapeur et le liquide réfrigérant. En faisant varier la température de l'eau introduite dans le condenseur et sa quantité, on a le moyen de régler la quantité de liquide faisant retour à la colonne sans rien changer au condenseur.

Le condenseur constitue une partie intégrante de l'appareil à distillation; il effectue une certaine séparation de vapeurs provenant du dernier plateau et, en outre, il produit le retour riche en éléments volatils indispensable au fonctionnement des plateaux.

L'action principale s'effectue dans la colonne elle-même, chacun des plateaux effectuant une nouvelle séparation des différents liquides par la vaporisation et la condensation successives.

La différence existant entre la composition des liquides de deux plateaux successifs n'est nullement constante d'un plateau à l'autre, mais extrêmement variable. Elle dépend entièrement du nombre de plateaux, de la quantité de vapeurs formées et des propriétés physiques des liquides à séparer.

Dans le condenseur et le réfrigérant, l'eau circule en sens inverse des vapeurs à refroidir. Le condenseur est disposé de telle sorte que sa surface puisse être à volonté augmentée ou diminuée pendant la marche de l'appareil, de façon à permettre de régler la quantité de liquide faisant retour suivant la composition du distillat. Ce résultat peut être obtenu en rendant mobile le tube de trop-plein qui sert à l'écoulement de l'eau. En l'abaissant, on diminue la surface active du condenseur et, par suite, la température de l'eau qui s'écoule. Les appareils distillatoires qui viennent d'être décrits peuvent être employés à la distillation fractionnée (huiles légères de goudron, par

exemple). Il suffit que le liquide sortant du réfrigérant puisse être dirigé dans des récipients différents, suivant la température à laquelle il distille.

La fabrication du sulfate d'ammoniaque et de l'ammoniaque concentré au moyen des eaux ammoniacales obtenues dans les usines à

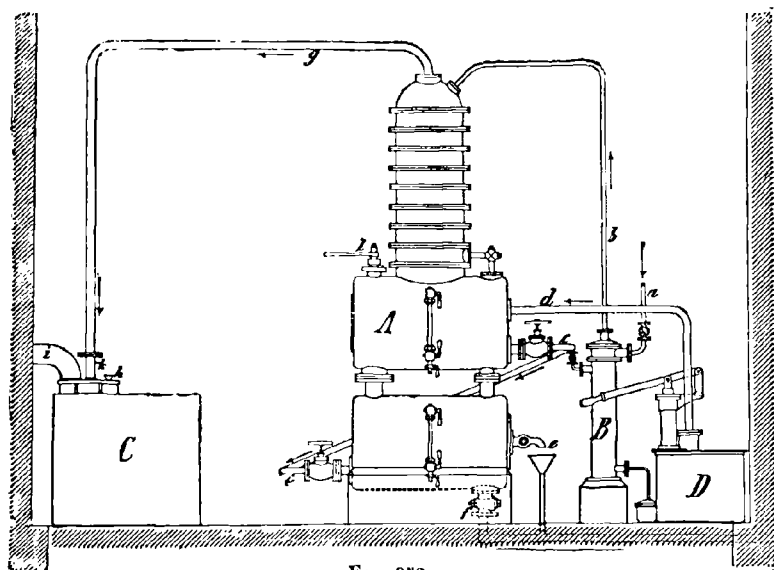


FIG. 252.

gaz s'effectue à l'aide d'une colonne de rectification analogue à celles qui viennent d'être décrites.

La figure 252 représente un appareil de ce genre construit par la maison Eckelt, de Berlin.

L'appareil comprend deux alambics placés l'un au-dessus de l'autre et surmontés d'une colonne à rectification. Les eaux ammoniacales provenant d'un réservoir élevé, par la tubulure A, pénètrent dans un réchauffeur B qu'elles quittent par la tubulure C pour pénétrer dans les plateaux supérieurs de la colonne. Les alambics sont chauffés par un énergique barbotage de vapeur que l'on règle au moyen de deux valves *c*, de façon à obtenir un contact intime avec le lait de chaux que l'on prépare dans le réservoir D et que l'on envoie dans l'alambic supérieur au moyen d'une pompe par le tuyau *d*. La vapeur d'eau qui

s'élève dans la colonne met en liberté le gaz ammoniac dissous, et celui-ci gagne par le tube *g* les appareils de saturation *C*. Ceux-ci sont remplis d'eau ou d'acide sulfurique étendu, suivant que l'on veut obtenir une solution aqueuse d'ammoniaque ou de sulfate.

Les gaz ayant résisté à l'absorption sont évacués par la conduite *i* et amenés sous un foyer quelconque. Le robinet *l* sert à faire écouler de

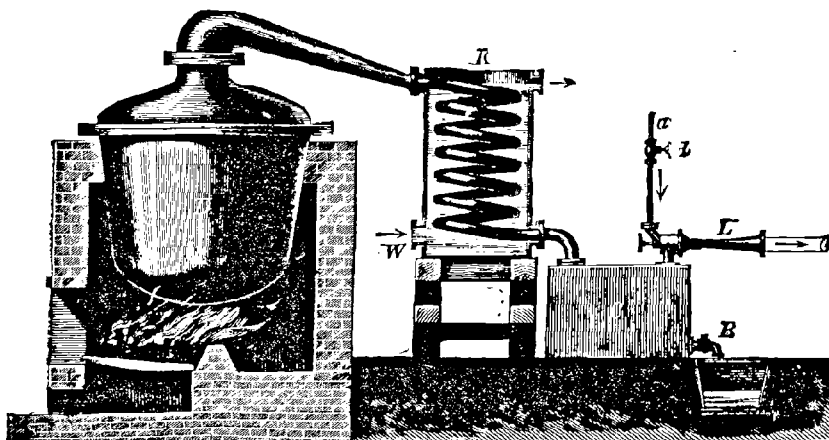


FIG. 253.

temps à autre la boue calcaire dans l'alambic inférieur, d'où on l'évacue par le robinet *f*. L'eau ammoniacale épuisée s'écoule par le robinet *e*.

Pour éviter que l'appareil ne soit mis hors de service par le vide qui se ferait dans les appareils à condensation en raison de l'absorption du gaz ammoniac, on dispose sur ceux-ci un bouchon *h* que l'on ouvre en cas d'arrêt de fonctionnement, de façon à permettre à l'air de rentrer dans l'appareil.

Lorsque l'on a à distiller des liquides dont le point d'ébullition est très supérieur à 100°, le chauffage peut s'effectuer à feu nu, par la vapeur fortement surchauffée ou par l'eau surchauffée.

On peut diminuer de 50° environ la température nécessaire en opérant la distillation dans le vide, ce qui permet de distiller des liquides bouillants à 220° environ au moyen de vapeur à 6 atmosphères.

Les appareils à distillation dans le vide trouvent de nombreuses applications dans la distillation des corps susceptibles de se décompo-

ser facilement à température élevée. Leur construction est identique à celle des appareils qui viennent d'être décrits. Les réfrigérants employés sont uniquement ceux en serpentín. Le vide nécessaire est généralement obtenu au moyen d'un appareil Koerting, dont le fonctionnement est analogue à celui de l'injecteur Giffard, à cette différence qu'il aspire de l'air au lieu d'eau. La figure 253 montre une installation de ce genre; le koerting étant directement placé sur le récipient L, le vide se propage à l'alambic par le serpentín K.

Les liquides non miscibles se séparent généralement assez rapidement en raison de leur différence de densité ρ . On utilise très simplement cette propriété au moyen d'un récipient disposé suivant le principe du vase florentin (*fig. 254*).

Une tubulure en col de cygne est fixée à la partie inférieure et sert à l'évacuation constante du trop plein de liquide dense. Le liquide plus léger se rassemble à la partie supérieure par le repos et on le fait écouler de temps à autre par le robinet placé à la partie supérieure.

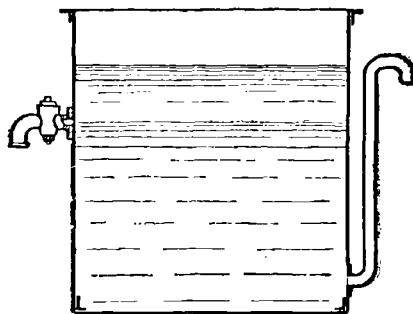


FIG. 254.

Ce robinet est d'abord ouvert pour laisser couler librement l'eau; le niveau de l'huile s'abaisse peu à peu et elle ne tarde pas à couler à son tour et, à ce moment, on la recueille séparément.

On emploie parfois le procédé consistant à soumettre le liquide au froid de façon à congeler une partie qui, devenant solide, peut alors être aisément séparée du liquide résiduel. Comme application de ce principe, nous citerons la fabrication de l'acide sulfurique monohydraté par le procédé Lunge. L'acide sulfurique dilué est fortement refroidi dans uneessoreuse centrifuge, ce qui amène la cristallisation du monohydrate en petits cristaux. Onessore alors ces cristaux pour les séparer de l'acide sulfurique très dilué qu'ils renferment. Les cristaux sont recueillis et fondus par l'action de la chaleur dans une chaudière émaillée à double paroi avec circulation d'eau chaude, puis l'acide concentré qu'ils fournissent est recueilli dans des récipients en fer. Les eaux acides résiduelles de l'essorage rentrent dans la fabrication.

PRODUCTION DU FROID

Nous dirons ici quelques mots des procédés et des appareils employés pour la production du froid artificiel.

Les uns sont basés sur les phénomènes d'absorption des gaz par les liquides; les autres, sur les phénomènes de liquéfaction et de vaporisation. Leur principe fondamental est le même : la chaleur nécessaire pour la vaporisation d'un liquide redevient libre au moment de sa condensation.

Dans les appareils à absorption, on chauffe une solution aqueuse d'ammoniacque à 130° environ. Le gaz se dégage sous une pression de 8 à 10 atmosphères et se rend dans un condenseur refroidi par de l'eau. Il s'y liquéfie et le liquide anhydre est conduit dans un serpentín immergé dans le liquide à refroidir. Pour sa vaporisation, le gaz ammoniac liquéfié ayant besoin de chaleur l'emprunte au serpentín qu'il traverse et, par suite, au liquide qui l'environne. Ce dernier est une solution de chlorure de calcium qui ne se congèle pas dans ces conditions. Sa température s'abaisse de plusieurs degrés au-dessous de zéro, et elle peut servir à refroidir ou à congeler des liquides ou les locaux dans lesquels on le fait circuler.

Quant au gaz ammoniac provenant de la vaporisation de AzH_3 liquéfié, il est récupéré par dissolution dans l'ammoniacque faible sortant de la chaudière; on obtient ainsi une nouvelle solution concentrée qui rentre en fabrication pour être de nouveau chauffée.

Les appareils de ce genre n'ont trouvé que peu d'applications, car la consommation de vapeur est assez importante et, en outre, il y a décomposition et perte d'une partie du gaz employé.

Les appareils à compression comprennent trois parties : le compresseur, le condenseur et le vaporisateur. Le compresseur est une pompe aspirante et foulante qui aspire les vapeurs émises dans le vaporisateur, les comprime et les envoie dans le condenseur où elles le liquéfient à nouveau avec l'aide d'une réfrigération par l'eau; le liquide (gaz liquéfié) va de là au vaporisateur où il se vaporise à

nouveau en empruntant à ses parois la chaleur qui lui est nécessaire.

Les gaz liquéfiables les plus employés sont l'acide sulfureux (Pictet), l'ammoniaque (Linde), le gaz carbonique et un mélange de gaz sulfureux et carbonique (Pictet). L'ammoniaque et le gaz carbonique ont surtout pris un grand développement.

On n'est pas encore parvenu à se mettre d'accord sur la question de savoir quel est le gaz (ammoniac ou acide carbonique) le plus avantageux en pratique. Le gaz ammoniac peut devenir très dangereux lorsqu'une fuite se manifeste dans les conduites en raison de son irrespirabilité et de ses propriétés irritantes et caustiques. Les fuites sont particulièrement fâcheuses lorsqu'elles se produisent en un point des serpentins, car elles ne peuvent être découvertes tout de suite, le gaz étant absorbé par l'eau des réfrigérants.

En outre, cette eau ainsi souillée devient impropre à tout autre usage ; elle est complètement perdue, et cette perte, sensible lorsque l'eau est empruntée à une canalisation municipale, vient s'ajouter à celle de l'ammoniac.

Le gaz carbonique ne présente pas les mêmes inconvénients. Il est arrivé que tout le gaz contenu dans un appareil se dégage dans l'air environnant sans que les ouvriers en éprouvent des malaises. Certains considèrent comme désavantageuse la haute pression (60 atmosphères environ), à laquelle travaillent les appareils à gaz carbonique. En outre, la glycérine employée comme moyen de graissage absorbe le gaz carbonique pendant la compression et le remet en liberté pendant l'aspiration, ce qui diminue un peu le rendement de la machine.

Toujours est-il que l'on construit plus d'appareils à gaz ammoniac que d'appareils à gaz carbonique, bien que les constructeurs de ces derniers offrent toutes les garanties désirables.

Le froid produit par ces appareils sert soit à la fabrication de la glace, soit à maintenir des espaces clos à une température inférieure à la température ambiante (chambre frigorifique pour la conservation de la viande, des fruits, caves à fermentation pour la bière). Le refroidissement peut être obtenu en faisant circuler la solution refroidie (chlorure de calcium) dans un système de tuyaux disposés dans le local à refroidir. On peut encore la faire tomber sous forme de pluie fine et faire passer l'air à refroidir au travers de cette pluie au moyen

d'un ventilateur. Le liquide est ensuite ramené au vaporisateur de façon à le refroidir à nouveau.

SÉPARATION DES LIQUIDES D'AVEC LES GAZ

Dans le cas le plus général, on se trouve en présence d'un gaz dissous dans un liquide. La chaleur fournit le moyen de mettre le gaz en liberté. Selon que les gaz doivent être recueillis ou non, on emploie soit un appareil à distillation, soit un appareil à évaporation dans lequel on chauffe le liquide. Les gaz dégagés sont recueillis dans un gazomètre ou se dégagent librement dans l'air.

S'ils sont dangereux ou nuisibles en raison de leurs propriétés, il est nécessaire de les diriger vers une cheminée ou tout autre dispositif capable de les mélanger avec un grand volume d'air, de façon à atténuer suffisamment leurs effets.

Les gaz qui ont été absorbés à haute température par des liquides peuvent être aisément séparés par refroidissement de ceux-ci (Voir, plus loin, *Appareil de Mohr*).

Enfin les gaz peuvent encore être mis en liberté en soumettant le liquide à une pression (pression hydraulique ou pression fournie par le dégagement des gaz eux-mêmes lorsque l'on chauffe le liquide dans un autoclave).

Le problème de la séparation des gaz et des liquides se présente dans la fabrication du gaz d'éclairage, où il s'agit de débarrasser ce gaz du goudron, de la vapeur d'eau et de l'ammoniaque qu'il entraîne.

Les appareils employés dans ce but étant susceptibles d'applications dans d'autres branches de l'industrie chimique, nous en donnerons ici la description.

La purification du gaz s'effectue le plus souvent en le lavant au moyen de la plus petite quantité d'eau possible, de manière à obtenir une solution riche en ammoniaque. Ce lavage se fait méthodiquement, c'est-à-dire que le gaz et l'eau circulant en sens inverse, l'eau pure vient en contact avec le gaz ne renfermant presque plus d'ammoniaque.

On employait autrefois des tours à coke dans lesquelles le gaz s'élevait et rencontrait un mince filet d'eau. Ces appareils, appelés « scrub-

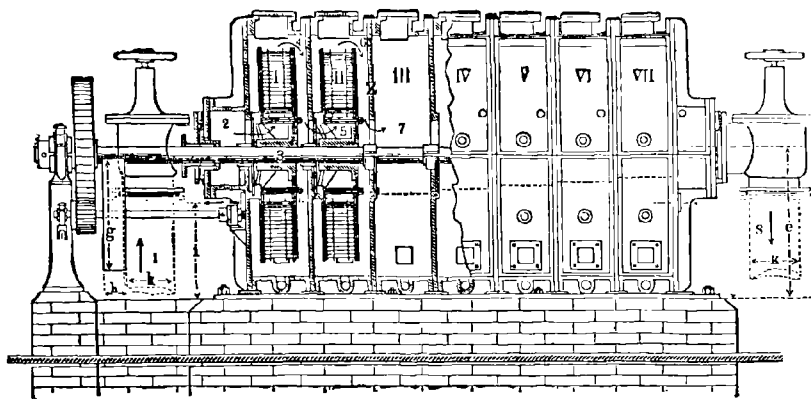


FIG. 255.

bers », sont aujourd'hui remplacés par le laveur Standard (fig. 255 et 256). Sur un même axe 3 sont montées une série de roues composées chacune de deux disques de tôle réunis par de très nombreux barreaux en bois qui divisent le courant gazeux. Chacun de ces disques tourne dans une enveloppe en fonte qu'il remplit exactement. Le gaz entre dans la chambre 1 parallèlement à l'axe et en ressort par la périphérie pour entrer dans l'axe de la chambre 2. Les flèches placées sur la figure indiquent le chemin qu'il doit parcourir. Il quitte finalement l'appareil par la valve 8, après avoir pris contact avec toute la surface intérieure de l'appareil. L'eau de lavage circule en sens inverse; elle est introduite par la chambre 7 et circule de l'un à l'autre par des ouvertures ménagées dans leurs parois.

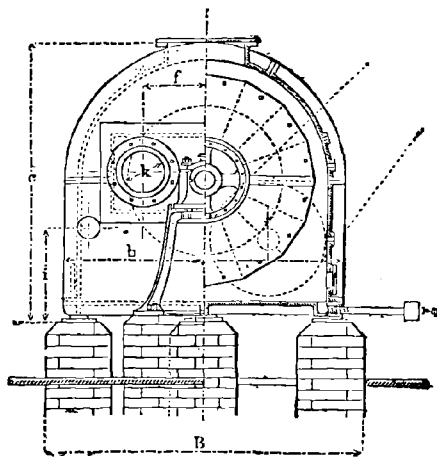


FIG. 256.

En vue d'augmenter autant que possible les surfaces de contact avec le liquide laveur, les ateliers de construction Zschocke de Kaiserslauten ont construit l'appareil représenté par les figures 257 et 258.

Ce laveur se compose d'un récipient cylindrique C partagé en plusieurs chambres communiquant entre elles alternativement par leur centre et leur périphérie. Toutes ces chambres sont montées sur un

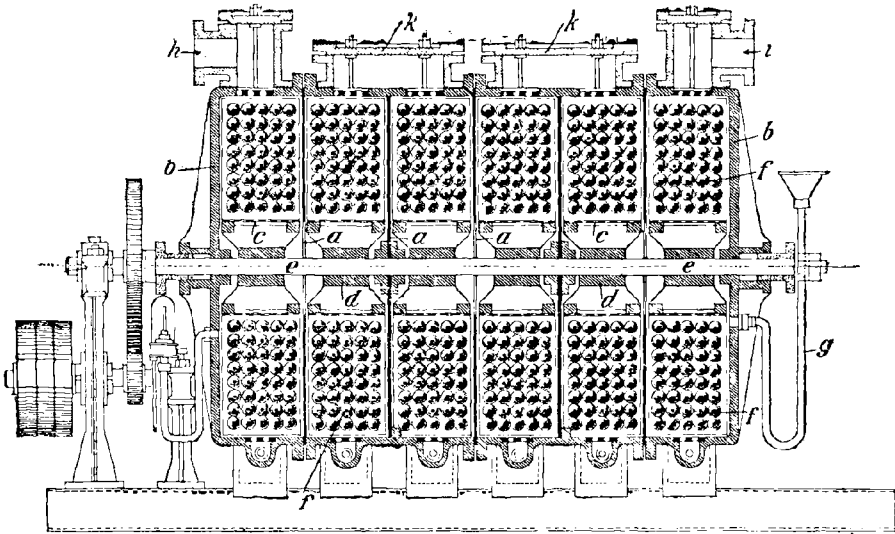


Fig. 257.

même axe, qui les entraîne dans son mouvement de rotation; elles sont garnies de boules creuses en matière convenable percées de trous. Ces boules sont entraînées dans le même mouvement de rotation et se déplacent continuellement les unes par rapport aux autres. Sous l'influence de la pesanteur et de la rotation, il y a renouvellement continu des surfaces humectées de liquide se trouvant en contact avec le gaz. Le liquide servant au lavage est introduit par un tube de niveau *g* dans la chambre de droite qu'il remplit jusqu'à une certaine hauteur; il passe de chambre en chambre jusqu'à la dernière où il est recueilli.

Le gaz à purifier est introduit par l'extrémité opposée, en *h*; il traverse les matières accumulées dans la chambre de gauche, puis la tôle perforée *c* et passe dans la chambre suivante dont il sort par la partie

supérieure *k*, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière chambre qu'il quitte par le tuyau *i*.

Le frottement continu qui existe entre les boules garnissant l'appareil empêche toute accumulation de matières goudroneuses. Toutes ces parties sont facilement accessibles, et l'on peut facilement vérifier l'état dans lequel se trouvent les matières chargées.

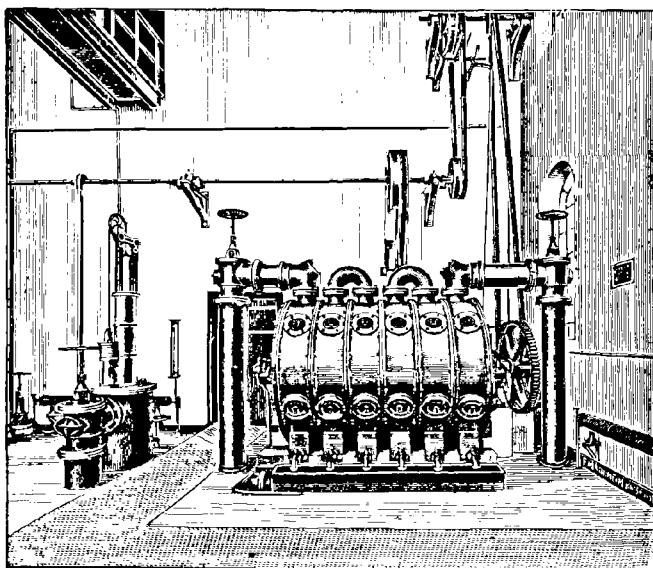


FIG. 238.

Une série de trous d'homme permettent de les enlever lorsque c'est nécessaire et de les remplacer par de nouvelles sans être astreint à démonter l'appareil.

La rotation de l'ensemble est obtenue par un système d'engrenages qui peut être disposé de manière à pouvoir en changer facilement le sens.

Nous décrirons encore l'appareil construit par Mohr pour séparer les liquides entraînés par les gaz. Cet appareil (*fig. 259*) se compose d'une série de tuyaux verticaux réunis en bas et en haut par des réservoirs étanches. Dans l'axe de chacun d'eux se trouve un tube de plus petit diamètre dans lequel on fait circuler de l'air ou de l'eau de manière à refroidir le gaz qui circule à leur extérieur. Ces tuyaux ne

sont pas cylindriques, mais affectent des étranglements très rapprochés de manière à augmenter les surfaces de contact. Les particules liquides

entraînées par le gaz sont condensées par l'effet du refroidissement et du choc sur les parois des tubes; elles sont recueillies à la partie inférieure.

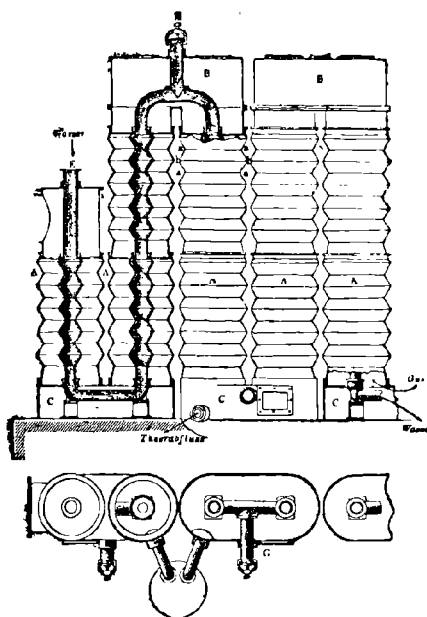


FIG. 239.

Si le mélange gazeux est complexe, chacun de ces éléments est absorbé successivement, au moyen d'un réactif approprié, dans une suite d'appareils.

On utilise également pour la séparation des gaz le fait que chacun d'eux possède une température de liquéfaction qui lui est propre.

Pour séparer des gaz les uns d'avec les autres on emploie le plus souvent les procédés d'absorption que l'on réalise au moyen des appareils décrits au chapitre V pour mélanger plusieurs gaz. Le gaz ayant résisté à l'absorption par le réactif choisi est recueilli, tandis que le gaz absorbé est remis en liberté par un procédé connu : distillation, évaporation, etc.

CHAPITRE IX

DESSICCATION

La dessiccation des matières premières, des produits intermédiaires ou des produits finis, constitue dans un grand nombre de cas une partie importante de la fabrication, et malgré cela elle est souvent exécutée sans tenir compte des principes fondamentaux qui doivent la diriger.

Aussi simple qu'apparaisse le problème, il n'en est pas moins un des plus difficiles que l'on ait à résoudre dans la mise au point d'un procédé de fabrication.

Lorsque la dessiccation n'est pas effectuée avec toutes les précautions voulues, la dépense est beaucoup plus considérable, et de plus on obtient souvent des produits défectueux ou présentant un aspect tel que leur vente devient difficile.

La dessiccation a pour but de débarrasser un corps solide de l'eau qu'il renferme et qu'il retient mécaniquement dans la grande majorité des cas. Cette opération peut s'effectuer soit en expulsant l'eau à l'état liquide, soit en la transformant préalablement en vapeur.

La séparation de l'eau à l'état liquide par un moyen mécanique est de beaucoup la solution la plus avantageuse ; le plus souvent elle précède la dessiccation proprement dite. Pour éliminer la majeure partie de l'eau par cette voie, on peut étendre la matière sur un tissu filtrant, sur une toile métallique ou une tôle perforée. On peut encore la mettre sur un simple plan incliné de façon à permettre à l'eau de se rassembler et de s'écouler. Si ces moyens sont insuffisants, on aura recours à la filtration au filtre-pressé ou par le vide ou au passage à

essoreuse. Dans des cas plus difficiles encore, la matière est placée dans des sacs en tissus résistants et exprimée à la presse hydraulique.

Si la quantité de matières à sécher n'est pas très considérable, on peut l'étendre en couche mince sur des carreaux en plâtre ou en terre cuite poreuse et l'abandonner ainsi à l'air ; le plâtre absorbe la majeure partie de l'eau et hâte considérablement la dessiccation.

L'eau qui ne peut être éliminée par ces moyens doit être transformée en vapeur par l'action de la chaleur. Si la substance ne doit pas être portée à une température supérieure à 100°, on doit se contenter

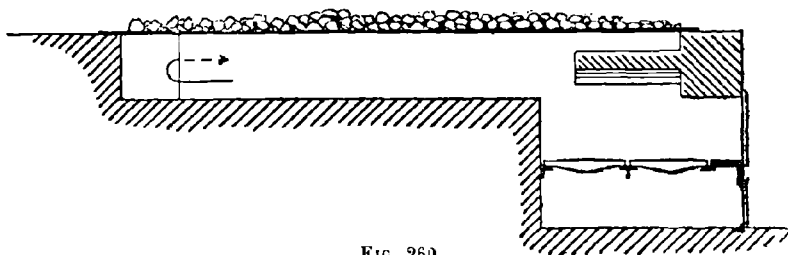


FIG. 260.

de la mettre en contact avec de l'air chaud. Si, au contraire, la dessiccation peut s'opérer sans inconvénient à une température supérieure à 100°, on trouve avantage, dans certains cas, à exclure le contact de l'air. Mais, dans la grande majorité des cas, il est plus économique de combiner l'élévation de température avec une circulation d'air entraînant la vapeur au fur et à mesure de sa formation.

Le dispositif le plus simple employé pour la dessiccation par la chaleur consiste en une sole plane formée par des plaques de fonte ou de grès, au-dessous de laquelle circulent les gaz chauds provenant d'un foyer (*fig. 260*). Le produit à dessécher est étendu en couche régulière, et on le remue de temps à autre, de façon à renouveler les surfaces de contact. La vapeur d'eau se dégage librement dans l'air.

Au lieu d'employer le chauffage direct, on peut avoir recours au chauffage par la vapeur ; le plus souvent on utilise dans ce but la vapeur d'échappement. Dans ce cas, on doit s'assurer que les plaques formant la sole sont parfaitement jointes, de façon que la vapeur qui circule dans les canaux disposés au-dessous ne vienne se condenser sur la matière froide. Dans quelques installations, on fait circuler la vapeur dans une série de tuyaux placés au-dessous de la sole.

Il est visible que cette façon de faire comporte beaucoup d'inconvénients, et que l'on ne peut y avoir recours que lorsqu'on dispose d'une grande quantité de gaz chauds ou de vapeur. L'emplacement nécessaire est bien considérable, et un grand nombre de produits seraient profondément altérés par ce traitement.

Les pertes de chaleur sont importantes, étant donné que celle-ci doit traverser les plaques formant la sole et que la matière se trouve

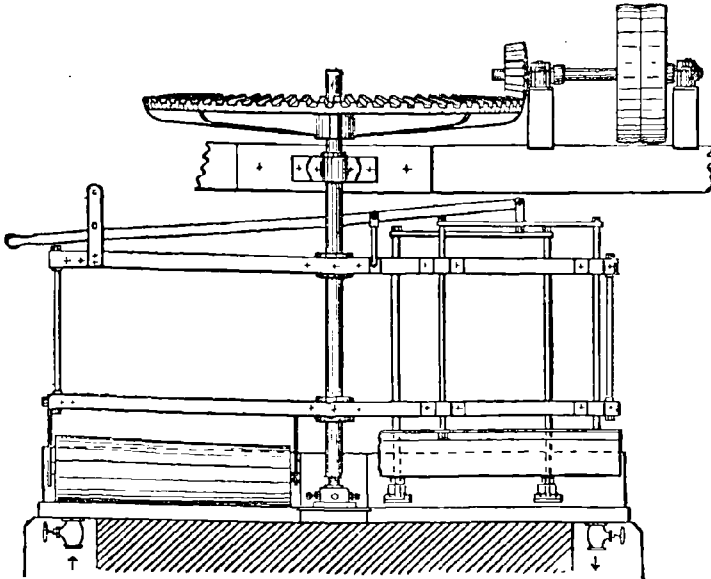


FIG. 261.

directement au contact de l'air froid. De plus, les couches inférieures de produit sont surchauffées, tandis que les couches supérieures sont presque froides. Ce mode de chauffage est inapplicable dans un grand nombre de cas, car la dessiccation est très lente et irrégulière.

Ces inconvénients peuvent être partiellement évités en remuant la matière à la pelle pendant toute la durée de la dessiccation. Pour diminuer les frais occasionnés par cette opération, on construit des soles chauffées munies d'un agitateur mécanique. La figure 261 représente un appareil de ce genre destiné à la dessiccation du salpêtre. La partie inférieure de l'appareil constitue un récipient circulaire à double fond chauffé par la vapeur. Un axe vertical porte d'un

côté son agitateur mécanique, de l'autre un cylindre très lourd qui étend la matière et la divise. L'axe est mis en rotation par l'intermédiaire d'un renvoi et de deux engrenages d'angle.

Les soles peuvent être améliorées en les établissant au-dessus du niveau du sol et les recouvrant en même temps que l'on assure la ventilation par un moyen approprié (*fig. 262*). Mais un certain nombre d'inconvénients subsistent encore : la dessiccation est lente et irrégulière, l'introduction de la matière sur la sole est difficile et pénible et, de plus, l'action de la chaleur ne peut être contrôlée exactement.

Les étuves fonctionnent dans des conditions plus satisfaisantes que les soles. Ce sont des chambres closes dans lesquelles la matière à

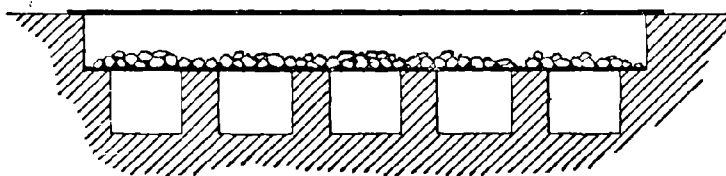


Fig. 262.

sécher est étalée en couches aussi minces que possible, de manière à présenter une grande surface de contact à l'action de l'air chaud. Si la matière à sécher possède une forme convenable et une résistance suffisante, comme les briques par exemple, on l'entasse régulièrement, en ménageant des espaces pour la circulation de l'air. Si elle se présente sous forme d'une masse pâteuse ou pulvérulente, ce qui est le cas le plus général, on dispose dans l'étuve des supports pouvant recevoir les claies ou les plateaux renfermant la matière à sécher. Les supports doivent être disposés de telle façon que la circulation de l'air reste toujours très facile ; en outre, on doit pouvoir facilement introduire les plateaux chargés de matière humide et retirer la matière sèche.

Les étuves de dimensions moyennes sont des chambres en maçonnerie munies de portes fermant hermétiquement. On peut aussi les construire en bois ou même en tôle, à la condition de bien isoler leurs parois pour les préserver du refroidissement par l'air extérieur.

Pour que ces étuves travaillent rationnellement, il est nécessaire qu'elles puissent être chauffées suffisamment et que l'on assure l'évacuation régulière de la vapeur d'eau formée. Le chauffage s'effectue soit à feu nu, soit par circulation d'air chaud ou de vapeur sur une surface de chauffe convenablement disposée. Il existe un très grand nombre de variantes de ces dispositifs, et l'on doit s'assurer que le mode employé convient au cas particulier en présence duquel on se trouve.

L'évacuation de la vapeur d'eau s'effectue généralement en reliant l'étuve avec une cheminée à bon tirage; la cheminée doit être aussi rapprochée que possible de l'étuve. Elle peut être remplacée par un ventilateur aspirant.

Il arrive souvent que l'on néglige de relier l'étuve à une cheminée ou à un exhausteur; dans ce cas, il est impossible d'obtenir de bons résultats, à moins que la température régnant dans l'étuve ne dépasse notablement 100°, ce qui est d'ailleurs un cas assez rare. En l'absence d'une circulation active, l'air ne tarde pas à se saturer de vapeur d'eau, et par suite, la vaporisation s'arrête complètement. Si la température régnant dans l'étuve vient à baisser sensiblement, pour une raison accidentelle, la vapeur d'eau ainsi formée ne tarde pas à se condenser et à humidifier à nouveau les matières que l'on se proposait de sécher.

Pour assurer la marche régulière de la dessiccation, il est indispensable d'amener continuellement de l'air sec et chaud au contact du produit à sécher. Cet air se sature de vapeur d'eau, puis il est évacué dans cet état et fait place à une nouvelle quantité d'air frais susceptible de fixer une nouvelle quantité d'eau. Ce principe de circulation doit être vigoureusement observé dans toutes les étuves dont la température est inférieure à 100°. Mais cette observation ne saurait suffire à vaincre toutes les difficultés.

Le séchoir est généralement disposé de telle sorte que les appareils de chauffage (tubes à circulation de vapeur ou d'air chaud) sont directement placés dans son intérieur, en ayant soin de ménager une ouverture pour l'entrée de l'air frais et une autre pour le départ de l'air saturé d'humidité. Avec ce dispositif, une partie seule de la matière est rapidement desséchée. C'est celle qui se trouve à proximité de la source de chaleur ou sur le trajet direct de l'air. En effet, l'air cherche

à suivre le chemin le plus court et lui offrant le moins de résistance pour se rendre au ventilateur ou à la cheminée. Il s'ensuit que les parties de l'étuve situées en dehors de son trajet direct contiennent de l'air stagnant et, par suite, saturé d'humidité. La dessiccation est donc très lente dans ces parties, au même degré que dans les étuves sans circulation d'air. Les échanges d'air ne peuvent avoir lieu que très lentement et sous la seule influence des variations de poids spécifique dues à la dilatation. De plus, la dessiccation est encore très lente à proximité de l'entrée de l'air, car en ce point celui-ci est complètement froid.

La dessiccation s'effectue dans de bien meilleures conditions lorsque l'air est chauffé avant d'être introduit dans le séchoir et, en outre, lorsqu'il est envoyé sous une certaine pression, au lieu d'être aspiré par une cheminée ou un exhausteur. La compression présente sur l'aspiration l'avantage suivant : si l'étuve n'est pas hermétiquement close, il y a perte d'une petite quantité d'air chaud, mais il n'y a jamais introduction d'air froid susceptible de ralentir l'opération.

L'expérience montre que la dessiccation s'effectue plus régulièrement même dans les angles les plus éloignés de l'étuve, lorsque l'air qu'elle renferme est à une pression légèrement supérieure à la pression extérieure.

Dans les installations importantes, les étuves occupent tout un bâtiment divisé en étages et en chambres isolées. Le foyer est placé dans la cave ; les gaz chauds environnent de tous côtés des tubes à ailettes en fonte dans lesquels circule l'air à échauffer, cet air étant refoulé par un ventilateur.

L'air chaud monte aux différents étages par des conduits disposés comme des cheminées ; il est distribué aux étuves à l'aide de longs tuyaux en tôle perforés, de manière à le répartir aussi régulièrement que possible. Lorsque cet air s'est saturé de vapeur d'eau, il est évacué au-dessus du toit par des cheminées ; il entraîne une importante quantité de chaleur que l'on peut utiliser en le faisant circuler à son tour dans des tuyauteries métalliques. On réalise ainsi un chauffage par la vapeur sans aucune dépense. Les étuves chauffées par ce moyen indirect doivent être énergiquement ventilées.

Cette méthode est particulièrement recommandable lorsque l'on a plusieurs produits différents à sécher, les uns exigeant un traitement

très soigné, les autres étant très sensibles aux variations de température.

Dans les séchoirs de ce genre, comportant un grand nombre de supports étagés les uns au-dessus des autres, on remarque toujours que la matière placée à l'endroit le plus élevé est toujours séchée avant l'autre. Il en résulte que la durée moyenne de la dessiccation est inutilement augmentée; de plus, l'utilisation de la chaleur devient très défectueuse vers la fin de l'opération, lorsque la quantité de matière à sécher est très restreinte. Enfin, un grand nombre de produits sont sujets à s'altérer lorsqu'ils sont exposés pendant quelque temps à une température un peu plus élevée que la normale, après que leur dessiccation est complète.

Pour améliorer le fonctionnement de ces séchoirs, on les construit parfois de façon telle que chacun des plateaux renfermant la matière à sécher reçoive directement un jet d'air chaud. Cette disposition ne fournit pas encore des résultats parfaits; les inconvénients décrits plus haut sont seulement atténués. En outre, on ne peut maintenir le rapport voulu entre la quantité d'air et le poids de matière à sécher, et l'utilisation de la chaleur devient imparfaite.

Il ressort de ce qui précède que, lorsque la chaleur nécessaire à la dessiccation est fournie sous forme d'air chaud, la marche de l'évaporation est constamment variable et a lieu dans des conditions de plus en plus défavorables.

Pour assurer une marche régulière, il faudrait que les propriétés de l'air employé varient graduellement. Partant de cette idée, on est amené à imaginer un séchoir construit à la façon des fours circulaires; l'entrée de l'air étant déplacée de temps à autre de telle façon que l'air frais vienne toujours en contact immédiat avec des matières presque sèches et l'appareil étant disposé de telle façon que l'air parcoure toute sa longueur avant de s'échapper et baigne en dernier lieu des matières complètement humides.

Cette disposition a été employée plusieurs fois avec succès; la dessiccation est rapide et exige peu de chaleur; mais l'installation est encombrante, coûteuse d'achat et d'entretien. Pour ces raisons, il est préférable d'opérer en sens inverse : faire arriver l'air frais et faire échapper l'air saturé toujours par les mêmes ouvertures et, par contre, faire circuler la matière à sécher en sens inverse du courant

d'air, de façon telle que la dessiccation ait le temps de s'accomplir pendant la durée de son parcours d'une extrémité à l'autre.

Ce principe fondamental devrait présider à la construction de tous les séchoirs, car cette disposition est celle qui assure l'obtention des meilleurs résultats avec la plus faible dépense possible de combustible et de main-d'œuvre. Alors même que l'installation serait un peu plus coûteuse que celle des étuves décrites précédemment, la simplification et l'économie réalisées sur les entretiens permettent d'amortir rapidement cet excédent des frais de première installation.

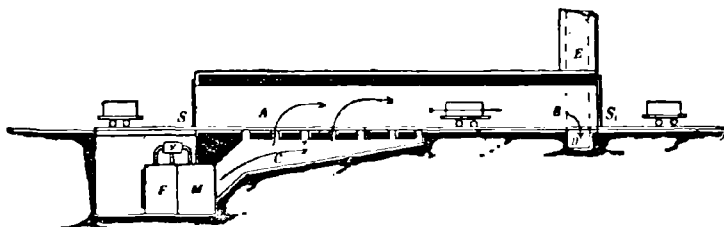


FIG. 263.

Les séchoirs avec circulation de la matière à sécher sont de deux types principaux : les séchoirs à tunnel et les séchoirs à cylindre.

La figure 263 représente le schéma d'un séchoir à tunnel fermé à ses deux extrémités par des registres S et S₁. Le foyer F est placé à l'une des extrémités du tunnel et au-dessous du sol. L'air est refoulé par un ventilateur et arrive par le conduit V ; une partie est conduite au foyer, l'autre est dirigée directement dans l'espace M où elle est mélangée aux produits de la combustion de manière à les amener à température convenable. Le foyer possède lui-même deux entrées d'air différentes, afin d'assurer la parfaite combustion. Le mélange de gaz chauds est dirigé dans le tunnel.

On a reconnu qu'il était avantageux de faire pénétrer l'air en plusieurs points peu éloignés les uns des autres, au lieu de le faire pénétrer en un seul point. Dans ce but, l'air est d'abord conduit dans le canal C portant plusieurs ouvertures o par lesquelles il pénètre dans le séchoir AB. Après avoir parcouru le tunnel dans toute sa longueur, l'air est évacué par le canal D et la cheminée E.

La matière à sécher circule de B vers A, en sens inverse de l'air chaud ; la marche de l'opération est la suivante :

On soulève le registre S, et l'on fait sortir le premier wagonnet, après quoi l'on referme ce registre. Le registre S₁ est ouvert à son tour de façon à permettre l'introduction d'un wagonnet chargé de matières humides; pour lui faire place, on repousse toute la série de wagons de la longueur d'une voiture. Pour faciliter cette opération, la voie est placée en pente si la disposition du terrain le permet, sinon on a recours à un dispositif mécanique. Les séchoirs à tunnel présentent l'avantage de pouvoir être beaucoup mieux isolés que les autres; on évite ainsi la majeure partie des pertes de chaleur.

Un de leurs autres avantages, c'est qu'il n'est pas besoin de charger et de décharger la matière à sécher pour l'amener à l'étuve humide ou l'envoyer aux magasins une fois séchée. De plus, les ouvriers n'ayant pas besoin de pénétrer dans le séchoir, on peut y faire régner une température beaucoup plus élevée que dans les étuves ordinaires. L'introduction et l'extraction des wagons peuvent se faire de l'extérieur, à l'aide de crochets ou d'appareils appropriés.

La dessiccation est absolument continue, puisque le séchoir contient toujours les mêmes quantités de matière humide, demi-sèche et complètement sèche.

Dans les séchoirs fonctionnant nuit et jour, la quantité d'eau évaporée est supérieure à sept fois le poids de charbon consommé; dans ceux qui ne marchent que le jour, elle varie entre cinq et six fois, en raison de la chaleur nécessaire pour porter le séchoir à la température voulue. Les frais de main-d'œuvre sont également beaucoup moins élevés que dans les étuves ordinaires.

On dispose souvent plusieurs séchoirs à tunnel les uns à côté des autres; on peut alors leur donner un foyer commun ou un foyer particulier à chacun d'eux. La dernière disposition est préférable, car il est plus aisé de régler la marche de la dessiccation dans chaque séchoir et, en cas de réparation, il suffit d'arrêter le fonctionnement d'un seul d'entre eux.

L'emploi d'un ventilateur est très utile, surtout lorsque le nombre des séchoirs est supérieur à deux. D'une part, on devient indépendant des variations de la pression atmosphérique et de la température; d'autre part, le réglage de l'évacuation de la vapeur est beaucoup plus aisé.

Il est à remarquer que l'emplacement situé au-dessus du tunnel

peut être utilisé pour tout autre usage. Dans certains cas, le séchoir est placé au-dessous du rez-de-chaussée d'un bâtiment à plusieurs

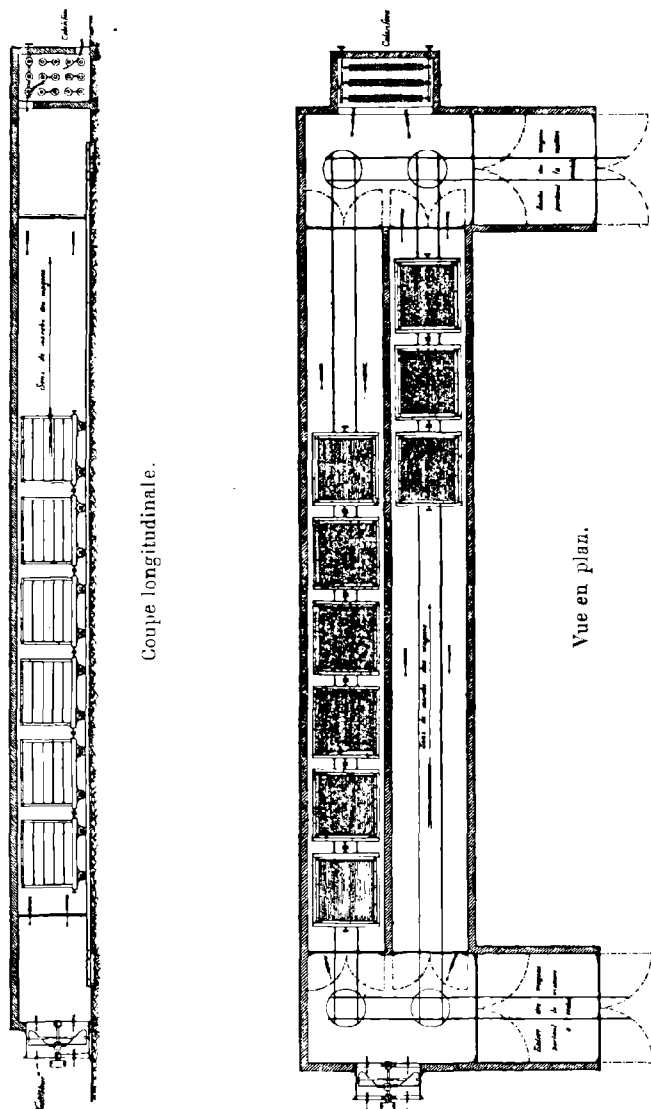


FIG. 264.

étages ; les wagonnets sont remontés au niveau du sol à l'aide d'un ascenseur, et la matière sèche peut être traitée ultérieurement dans ce local lui-même.

Lorsque les matières à sécher ne peuvent supporter le contact direct des produits de la combustion, comme c'est le cas pour la plupart des produits chimiques, l'air n'est pas mélangé avec les gaz du foyer, il est chauffé au moyen d'un calorifère. Il existe des installations de ce genre dans lesquelles l'air entre dans le séchoir avec une température supérieure à 300°. Ces installations sont naturellement plus coûteuses de première installation et d'entretien.

La figure 264 représente la disposition de deux séchoirs parallèles avec calorifère commun; c'est la disposition employée pour la dessiccation des bois, peaux, cuirs, cartons, colles, tissus, etc.

La matière est placée sur des wagonnets à plate-forme ou comprenant plusieurs étagères superposées sur lesquelles elle est étalée en couche mince.

La cheminée d'évacuation de la vapeur est commune aux deux séchoirs; la vapeur et l'air chaud sont continuellement aspirés par un ventilateur placé à l'extrémité opposée du calorifère. Ce schéma d'installation est dû à la maison Farcot, qui s'est fait une spécialité dans ce genre. La figure 265 représente la même disposition appliquée à un séchoir à armoire destiné à la dessiccation des herbes, plantes, racines, tabac, cafés, etc.

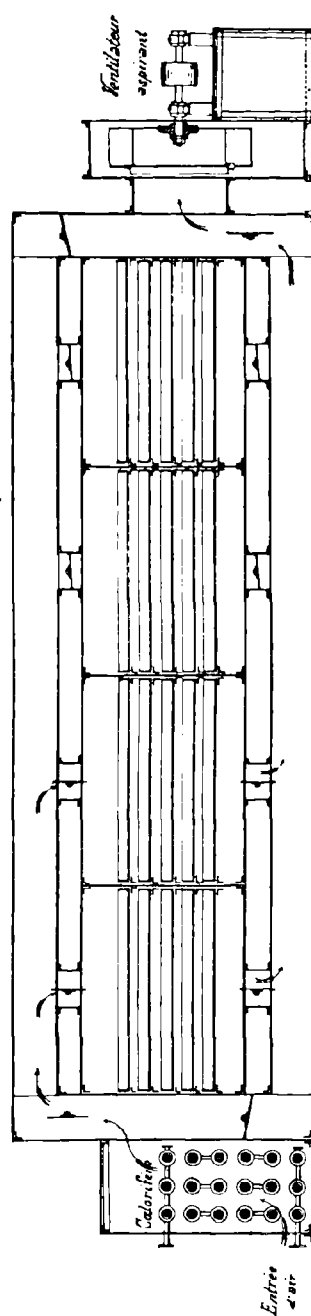


Fig. 265.

Lorsque la place dont on dispose est très limitée, on peut appliquer le même principe de circulation à un tunnel vertical; les wagonnets sont placés les uns au-dessus des autres et on soulève le tout à chaque fois que l'on veut introduire un nouveau chargement de matière. Le wagonnet supérieur renfermant le produit sec est retiré par la partie supérieure.

Les dispositions de l'ensemble et des détails peuvent être variées indéfiniment de façon à les adapter, dans chaque cas particulier, aux conditions locales et aux propriétés spéciales du produit à sécher. Le principe fondamental de la circulation en sens inverse du parcours des gaz chauds assure dans chaque cas la meilleure utilisation de la chaleur, le minimum de manutention, la facilité de conduite de la dessiccation et sa régularité parfaite. En outre, la disposition des séchoirs en tunnel et le fait que l'air y est refoulé, au lieu d'être aspiré, permettent d'éviter beaucoup plus sûrement les pertes d'air chaud que dans le cas des étuves.

Lorsque la matière à sécher se présente en très gros morceaux résistant à l'écrasement (minéraux, charbons, etc.), on applique ce même principe d'une façon très simple. L'appareil est un cubilot d'un diamètre assez grand eu égard à sa hauteur. A sa partie inférieure se trouve une grille au travers de laquelle on injecte l'air et les gaz chauds qui se dégagent par la partie supérieure, après s'être saturés de vapeur d'eau. La matière est directement chargée dans le cubilot par sa partie supérieure, à l'aide d'un dispositif mécanique quelconque. On la retire, une fois sèche, par la partie inférieure, par des portes ménagées à cet effet; le reste tombe sur la grille par son propre poids. Par ce moyen, on peut sécher de grandes quantités de minerais en peu de temps et avec très peu de frais.

Les séchoirs à cylindre sont d'un emploi plus général et fournissent de très bons résultats dans tous les cas où l'on peut les employer. Ils comprennent un cylindre chauffé intérieurement ou extérieurement et dans lequel la matière est mise continuellement en rotation. Ce résultat peut s'obtenir de plusieurs façons : on peut munir l'axe du cylindre de bras ou de palettes et le faire tourner sur lui-même. On peut encore faire tourner le cylindre en laissant les palettes elles-mêmes dans une position fixe; enfin, on peut faire tourner le cylindre et les palettes en sens inverse. Les appareils ne renfermant pas de

parties mobiles sont préférables, car il peut toujours arriver que les palettes soient brisées par la résistance que leur opposent les gros fragments de matière et, en outre, que la matière soit divisée en fragments plus petits qu'on ne le désirerait.

La rotation du cylindre ou des palettes n'a pas seulement pour but de remuer la matière, ce qui présente déjà l'avantage d'activer considérablement la dessiccation en renouvelant constamment les surfaces en contact avec l'air chaud. Elle a pour second résultat de faire progresser la matière d'une extrémité à l'autre du cylindre. La dessiccation devient donc continue, comme dans les séchoirs à tunnel, et s'effectue régulièrement pour toutes les parties du produit traité.

Ce mouvement de progression peut être obtenu en disposant les palettes suivant une spirale tout autour de l'axe qui les supporte. Elles agissent alors à la façon d'un transporteur à vis d'Archimède. On peut encore réaliser ce même résultat en inclinant l'axe du cylindre sur l'horizontale ou encore en employant un tambour légèrement conique. L'emploi d'un cylindre incliné sur l'horizontale simplifie le mode de construction et doit être préféré. D'autant plus que, dans ce cas, on peut se dispenser d'installer un agitateur à palettes; le cylindre est muni extérieurement d'une couronne dentée engrenant avec une vis sans fin ou un train d'engrenages de façon à le faire tourner sur lui-même. L'ensemble est alors très analogue aux fours servant à la préparation du carbonate de soude.

La commande par vis sans fin présente l'avantage d'être d'une installation plus facile; elle permet de réduire aisément la vitesse de rotation de l'arbre principal, ce qui est nécessaire, le cylindre devant tourner très lentement sur son axe. Il est vrai que cette commande est d'un rendement mécanique peu satisfaisant, mais cette question est sans importance, étant donné le peu de force absorbée.

L'intérieur du cylindre est garni de saillies dirigées dans le sens de son axe qui entraînent la matière dans leur mouvement de rotation et la laissent retomber peu à peu. Toutes ces parties se trouvent ainsi exposées un grand nombre de fois à l'action de l'air chaud environnant. La matière étant soulevée perpendiculairement à l'axe du cylindre et retombant suivant la direction de la verticale, décrit une ligne hélicoïdale dont le pas dépend de l'inclinaison du cylindre sur l'horizontale. Chaque mouvement de rotation du cylindre fait progresser la

matière d'une longueur constante et égale à ce pas; on a donc deux moyens pour régler à volonté l'avancement de la matière : augmenter la vitesse de rotation, ou bien accentuer l'inclinaison de l'axe du cylindre sur l'horizontale.

Si cette inclinaison est nulle, le pas de l'hélice devient également nul et la matière est simplement remuée sans qu'elle progresse; si elle est grande, le transport est rapide, et, enfin, si elle est petite, il est lent.

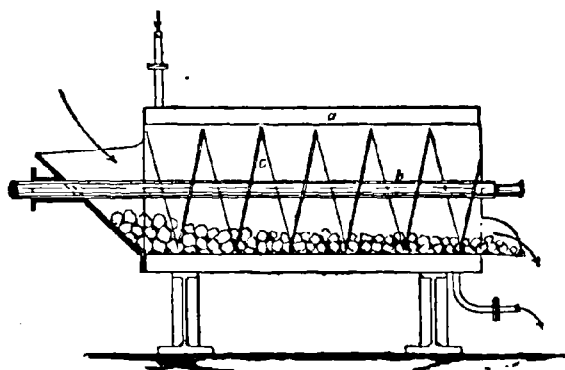


FIG. 266.

Lorsqu'un même séchoir doit servir à sécher des matières de propriétés différentes ou susceptibles de renfermer une proportion variable d'humidité, on construit les cylindres de telle façon que l'in-

clinaison de leur axe puisse être réglée à volonté. On a ainsi le moyen d'accélérer ou de ralentir le passage des matières à sécher, tout en maintenant la dessiccation régulière et en l'effectuant avec la plus faible dépense possible.

La figure 266 représente un cylindre horizontal *a* dont l'axe *b* porte des palettes *c* destinées à faire avancer la matière à sécher. Le tambour est fixe et entouré d'une double enveloppe permettant de le chauffer par la vapeur. L'air chargé d'humidité se dégage par l'ouverture servant au départ du produit sec.

La figure 267 reproduit la disposition schématique d'un tambour conique tournant sur son axe. La progression de la matière est produite d'une façon invariable par l'inclinaison des parois. L'appareil est chauffé à feu nu et par l'extérieur, l'air pouvant circuler librement dans son intérieur. Ce dispositif est analogue, au point de vue de ses résultats, au chauffage à l'air libre sur sole plane.

La figure 268 représente un séchoir à cylindre chauffé directement par les gaz du foyer, mélangés du volume d'air nécessaire. La matière à sécher est introduite par l'extrémité supérieure *a* et tombe

à la partie inférieure dans un espace *b* dans lequel arrivent aussi les gaz de la combustion, avant de pénétrer dans le cylindre. Un ventilateur *c* fournit l'air nécessaire à la combustion et, en outre, intro-

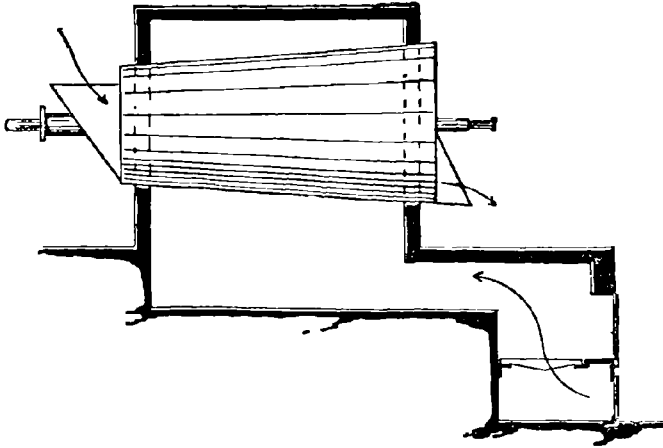


FIG. 267.

duit en *d* l'air froid en quantité suffisante pour abaisser leur température dans la proportion voulue.

La figure 269 représente la forme la plus parfaite de séchoir à

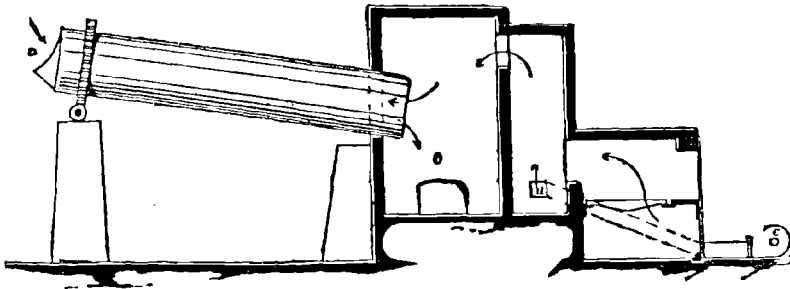


FIG. 268.

cylindre. L'air destiné à amener la dessiccation est chauffé par un calorifère; il n'y a donc aucun mélange avec les produits de la combustion. La température de cet air est réglée par addition d'air froid; ce mélange parcourt le cylindre d'une extrémité à l'autre.

Les gaz du foyer se rendent dans un massif en maçonnerie entou-

rant le cylindre de toutes parts; celui-ci est donc chauffé extérieurement et intérieurement.

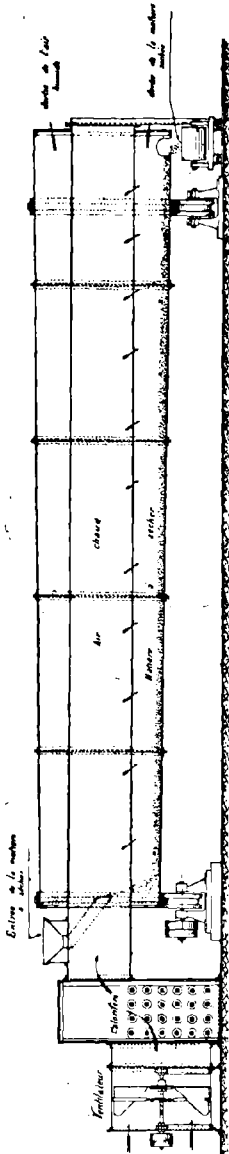


FIG. 269.

Ces trois derniers modèles d'appareils peuvent être construits avec disposition permettant l'inclinaison variable du cylindre. La matière séchée peut s'écouler en courant continu de la partie antérieure du cylindre et tomber directement dans des wagons ou dans un transporteur à vis ou tout autre dispositif permettant de l'emmener plus loin. On construit des appareils de ce genre permettant d'évaporer jusqu'à 1.000 kilogrammes d'eau contenue dans la matière à dessécher par heure.

Les appareils à dessiccation dans le vide et à très basse température méritent une mention spéciale, car ils permettent de dessécher rapidement des substances très sensibles aux plus faibles élévations de température et très longues à sécher à la température ordinaire. Ils sont surtout employés pour la dessiccation des matières organiques : extraits tannants, caoutchouc, résines, gommes et gélatine, albumines, couleurs d'aniline, etc.

Cet appareil, imaginé par E. Passbur, se compose d'une armoire ou d'un cylindre (*fig. 270*) en fer forgé ou en fonte munie sur l'une de ses faces d'une porte pouvant fermer hermétiquement. Dans l'intérieur du séchoir se trouvent soit des chambres de chauffe étagées les unes au-dessus des autres, soit des serpentins à vapeur (pouvant aussi servir au chauffage par l'eau chaude); les serpentins ou ces chambres sont reliés d'une part à la tubulure d'ar-

rivée de vapeur, d'autre part à la tubulure de sortie de condensation. Les unes et les autres sont construits pour pouvoir supporter une pression intérieure de 5 atmosphères.

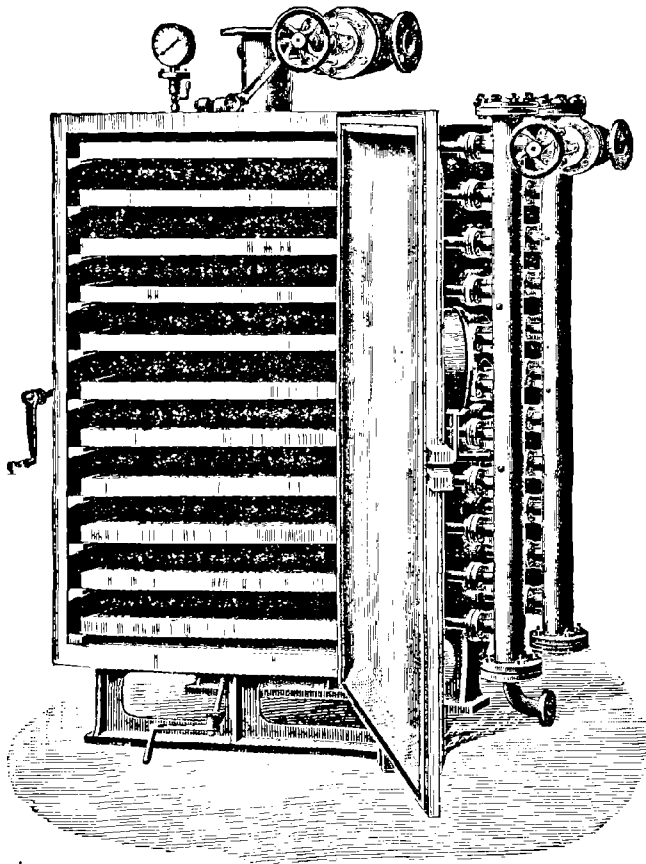


FIG. 270.

Elles supportent des cuvettes en tôle, en cuivre ou en terre.

Le cas échéant, celles-ci peuvent être étamées, plombées, etc. ; on peut encore les remplacer par des plaques ou des wagonnets renfermant la matière à sécher. Après avoir fermé la porte à joints de caoutchouc, on fait le vide dans l'appareil à l'aide d'une pompe à air,

jusqu'à ce que la pression ne soit plus que d'environ 60 millimètres de mercure. En même temps on fait circuler la vapeur ou l'eau chaude à travers les chambres de chauffe. Lorsque la substance est portée à la température de 40°, l'eau qu'elle renferme se met à bouillir vivement, et elles sont rapidement séchées.

Des substances très difficiles à sécher qui, avec les autres systèmes, doivent rester des journées entières au séchoir ou qui ne peuvent pas être séchées complètement, sont traitées à fond dans cet appareil au bout de quelques heures, sans que les produit aient à souffrir d'une action quelconque de la chaleur. La température peut être réglée très exactement au moyen d'une valve intercalée sur la conduite de vapeur. En employant le chauffage à l'eau chaude et en produisant un vide absolu à l'aide de la pompe à air, on peut réaliser la dessiccation à 20° environ.

Cet appareil est d'un service simple et commode, d'une manipulation propre et sûre. Il représente un très grand progrès dans la fabrication d'un grand nombre de produits organiques. La dépense de vapeur est très faible.

En utilisant pour le chauffage la vapeur d'échappement du cylindre de la pompe à air, la dépense totale pour vaporiser et évacuer 1 kilogramme d'eau contenu dans les matières à sécher ne dépasse pas en moyenne 1^{re},200 de vapeur, en tenant compte de la force motrice absorbée par la pompe à vide. Sous ce rapport, ce procédé de dessiccation est l'un des plus économiques dont on dispose à l'heure actuelle.

Pour la dessiccation des explosifs, la forme des séchoirs est légèrement modifiée de façon à parer à l'éventualité d'une explosion. L'appareil se compose également d'un récipient en fonte fermé sur une de ses faces par une porte en deux parties très facilement mobiles autour de leurs gonds (*fig.* 271). Ce récipient renferme quatre plaques horizontales creuses chauffées par la vapeur d'échappement (conduite *b*). Les matières explosives à sécher sont étendues en couche mince dans des cuvettes que l'on place sur ces plaques. Ce récipient est divisé en deux parties A et B, B renfermant les plateaux qui viennent d'être décrits, l'autre partie A, placée en arrière, complètement libre et portant un grand nombre d'ouvertures destinées à fonctionner comme soupapes de sûreté en cas d'explosion. Ces ouvertures, au nombre de

quarante-quatre, sont fermées par un couvercle en fonte s'appuyant sur un anneau de caoutchouc. Lorsque le vide est fait dans l'appareil, la pression atmosphérique applique énergiquement les couvercles sur leur siège et s'oppose à toute rentrée d'air. Une pompe à air humide aspire l'air contenu dans l'appareil par la conduite *a* et crée un vide d'au moins 700 millimètres de mercure. Sous l'influence combinée de ce vidé et de la chaleur fournie par les plateaux, l'eau contenue dans

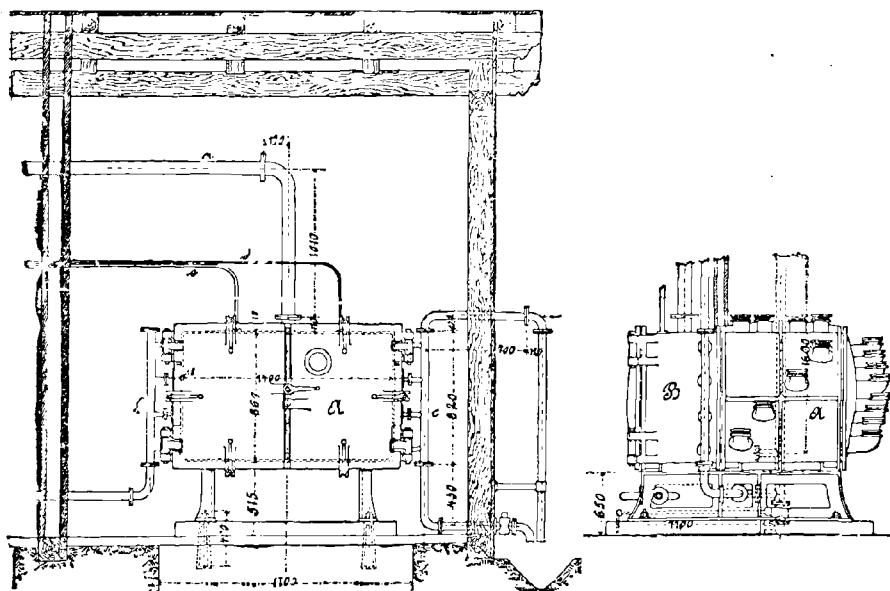


FIG. 271.

l'explosif se dégage rapidement et à très basse température, et la dessiccation est terminée en peu de temps. On refroidit alors l'explosif en interrompant la circulation de la vapeur et la remplaçant par de l'eau froide ; le produit sec et froid peut alors être extrait sans aucun danger. La dessiccation dure à peine une heure dans les cas les plus difficiles (poudre noire, par exemple).

S'il survient une explosion, les gaz formés se détendent dans la partie postérieure de l'appareil précisément destinée à les absorber. Si, malgré cette précaution, il se forme une surpression notable dans l'appareil, les couvercles obturant les quarante-quatre soupapes de sûreté sont

projetées en l'air et livrent passage aux gaz. Ces soupapes sont disposées de telle sorte qu'elles ne puissent être dégradées par la chute des couvercles. En outre tous les organes de distribution de la vapeur et de contrôle sont disposés dans un local séparé du séchoir par une cloison en planches, de telle façon que toute cause d'accident soit exclue, personne n'ayant à pénétrer auprès de l'étuve une fois qu'elle est mise en fonctionnement.

CHAPITRE X

APPAREILS DE CONTROLE ET DE MESURE

La détermination du poids des corps s'effectue à l'aide de balances et de bascules de modèles différents, suivant le poids de matière à peser en une fois et la précision désirée.

Nous ne parlerons pas ici des balances de précision employées dans les laboratoires ni des balances du système Béranger employées pour peser jusqu'à 25 kilogrammes.

Les bascules à fléaux égaux (*fig. 272*) sont d'une construction simple et peu sensibles à la poussière et aux chocs. On les emploie avantageusement pour peser rapidement et assez exactement de grandes quantités de matières en sacs : salpêtre, sulfate de soude, etc. Il suffit d'une faible surcharge pour que le fléau prenne une position très inclinée.

Les bascules décimales ou centésimales, suivant le rapport existant entre la charge placée sur la plate-forme et le poids nécessaire pour l'équilibrer, sont très employées.



FIG. 272.

Ces balances se construisent en bois ou en fer; celles en fer sont préférables en raison de leur plus grande solidité et de leur résistance

aux chocs et aux influences atmosphériques.

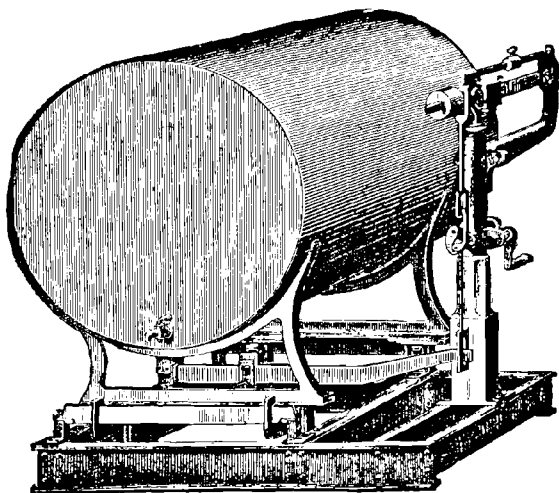


FIG. 273.

Les poids, dont le maniement est long et peu pratique, sont avantageusement remplacés par une masse de métal mobile le long d'un levier gradué. On fait glisser cette masse jusqu'à réalisation de l'équilibre et on lit directement le poids de la matière pesée.

S'il s'agit de peser

des liquides, la plate-forme est remplacée par une partie en fonte disposée pour recevoir aisément le récipient qui les contient (fig. 273).

On emploie, dans certains cas, des appareils permettant la lecture directe du poids et imprimant automatiquement celui-ci sur un ticket en carton.

La figure 274 représente une balance automatique servant à peser des matières en grains fins ou en poudre.

Le fléau de cette balance porte d'un côté un plateau destiné à recevoir les poids, de l'autre une caisse recevant la matière pesée. Au-dessus de cette caisse se trouve une trémie munie de deux

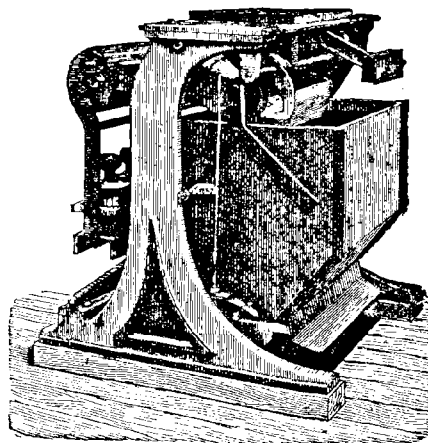


FIG. 274.

clapets de dimensions inégales; le plus grand se ferme automatiquement quelque temps avant que l'équilibre ne soit établi, l'autre inter-

rompt l'écoulement de matière dès que l'équilibre est atteint. Le récipient recevant la matière pesée peut être vidé rapidement, et l'on peut aussitôt procéder à une nouvelle pesée. Un compteur automatique enregistre le nombre de pesées faites au cours d'un espace de temps donné.

Cet appareil est surtout commode lorsqu'il s'agit de peser exactement de grandes quantités de matières pulvérulentes employées pour une fabrication courante; il n'exige aucune attention de la part de l'ouvrier qui en est chargé.

THERMOMÈTRES ET PYROMÈTRES

Il est souvent nécessaire de contrôler d'une façon permanente la température à laquelle s'effectue une réaction chimique. On emploie dans ce but des thermomètres placés à demeure dans l'enceinte dont on veut mesurer la température et efficacement protégés contre les chocs par une gaine métallique.

Ces thermomètres se font droits ou coudés; la longueur de la tige est également variable suivant les dimensions des appareils dans lesquels ils doivent être placés. On les fixe sur ceux-ci au moyen d'un cône, d'une bride ou d'une partie filetée (*fig.* 275 à 278).

Lorsqu'il s'agit de mesurer des températures supérieures à 360° (point d'ébullition du mercure à la pression ordinaire), on construit les thermomètres en verre peu fusible, et on y comprime un gaz indifférent (azote ou acide carbonique) à 17 ou 18 atmosphères. Le point d'ébullition du mercure est ainsi élevé à 550° environ. Une autre solution consiste à remplacer le mercure par un alliage liquide de potassium et de sodium qui permet de mesurer jusqu'à 800°. Enfin, le verre peut lui-même être remplacé pour la construction du réservoir par le quartz fondu beaucoup moins fusible.

Ces appareils ne sont qu'assez rarement employés, car ils sont sujets à différentes causes d'erreurs dues au déplacement du zéro en raison des variations de capacité qu'éprouve le réservoir lorsqu'il est

soumis alternativement à des températures élevées et à des refroidissements brusques.

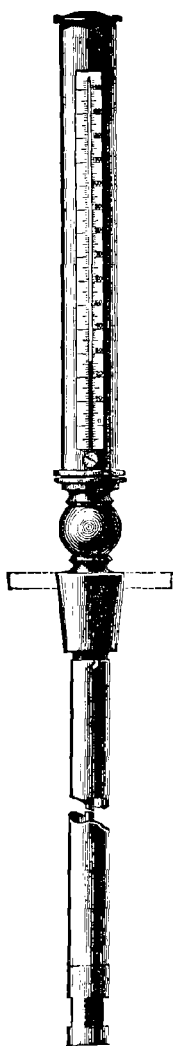


FIG. 275.

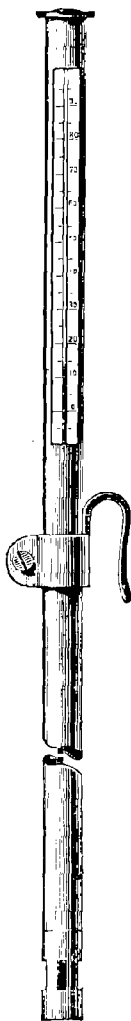


FIG. 276.



FIG. 277.

On peut encore déterminer la température en mesurant la tension des vapeurs saturées émises par un liquide convenablement choisi : eau, mercure, éther.

Ces appareils, appelés thalpotasimètres, se composent d'un tube-réservoir relié à un tube capillaire en acier se terminant par un tube-ressort en acier également. Le mercure ou les vapeurs d'éther créant une pression à l'intérieur du tube-ressort, celui-ci tend à se redresser, et son mouvement se transmet par un secteur denté à une aiguille qui se meut le long d'un cadran gradué en degrés.

Ces appareils peuvent être munis d'une aiguille indiquant la température maxima ou minima et reliés à une sonnerie électrique de contrôle qui avertit dès que la température dépasse un certain point (*fig.* 279). Les thalpotasimètres à pression d'éther indiquent les températures comprises entre $+ 35^{\circ}$ et 180° ; ceux à eau permettent d'aller jusqu'à 450° ; enfin ceux qui renferment du mercure permettent d'atteindre 600° .

Le grand avantage de ces appareils c'est qu'ils permettent de placer le cadran en un point éloigné (jusqu'à 50 mètres) de la source de chaleur. Le tube-réservoir renfermant le liquide (mercure)

est relié au manomètre (gradué en degrés au lieu de l'être en atmosphères), à l'aide d'un tube capillaire en acier de 3 millimètres de diamètre intérieur. La figure 279 représente l'ensemble de l'un de ces appareils construits par la maison Schaeffer et Budenberg.

Ces mêmes appareils peuvent être combinés avec un enregistreur de température, qui permet de conserver la représentation exacte de la marche des appareils de chauffage.

On doit encore citer les pyromètres à dilatation métallique basée

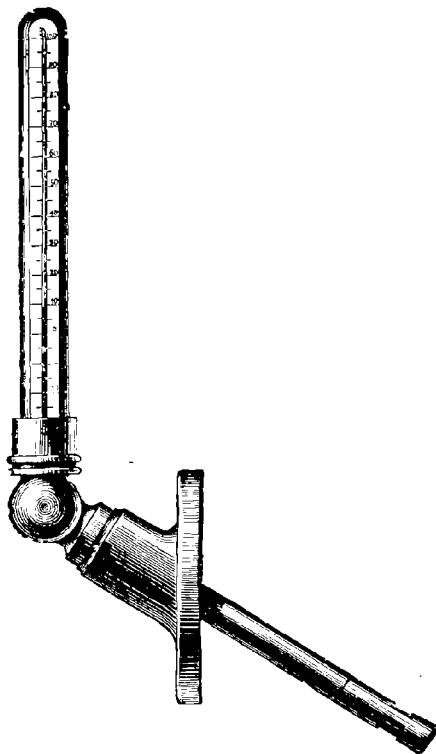


FIG. 278.

basée sur l'inégale dilatation de deux métaux (fer et cuivre).

Les figures 280 et 281 représentent un thermomètre à mercure breveté par la maison Steinle et Hartung indiquant les températures comprises entre 0 et 600°. Le réservoir à mercure est en acier et communique par une ouverture capillaire avec un tube capillaire enroulé en spirale à la façon d'un ressort. Ce ressort se déroule sous

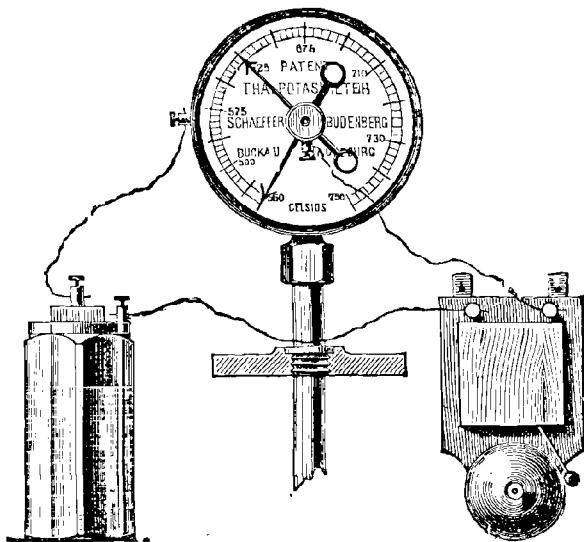


FIG. 279.

l'influence de la pression exercée par le mercure et met en mouvement une aiguille mobile sur un cadran. La transmission de mouvement est combinée de telle façon que la dilatation linéaire du ressort n'influence en aucune façon la position de l'aiguille. Ce thermomètre est insensible aux vibrations et on peut l'employer même sur des appareils tournants. Il peut aussi être combiné avec un appareil enregistreur.

On utilise aussi pour la mesure des températures supérieures à 600° la propriété que possède un mélange d'argile et de graphite de ne pas se dilater, tandis que les métaux se dilatent considérablement.

Les thermomètres à air reposent sur les lois bien connues de la dilatation des gaz et de l'air en particulier. Mais ces appareils sont

compliqués, coûteux et d'un maniement assez mal commode, tout en étant peu exacts.

La solution pratique de l'importante question de la mesure des hautes températures est fournie par le pyromètre Le Châtelier. Sa partie principale est un couple thermo-électrique constitué par deux fils, l'un de platine pur, l'autre de platine allié à 10 0/0 de rhodium. Ces deux fils sont réunis à l'une de leurs extrémités par torsion ou soudure. Les autres extrémités sont reliées par deux fils isolés aux deux bornes d'un galvanomètre très sensible à cadre mobile. La force électromotrice produite par l'échauffement du couple thermo-électrique placé dans le milieu dont on veut connaître la température engendre un courant dont on mesure la force électromotrice à l'aide du galvanomètre. Le cadre mobile porte un miroir; ses déviations

sont lues sur une échelle divisée transparente (*fig. 282*).

La déviation est proportionnelle à la force électromotrice du courant, et celle-ci est elle-même en relation directe avec la température à



FIG. 280.

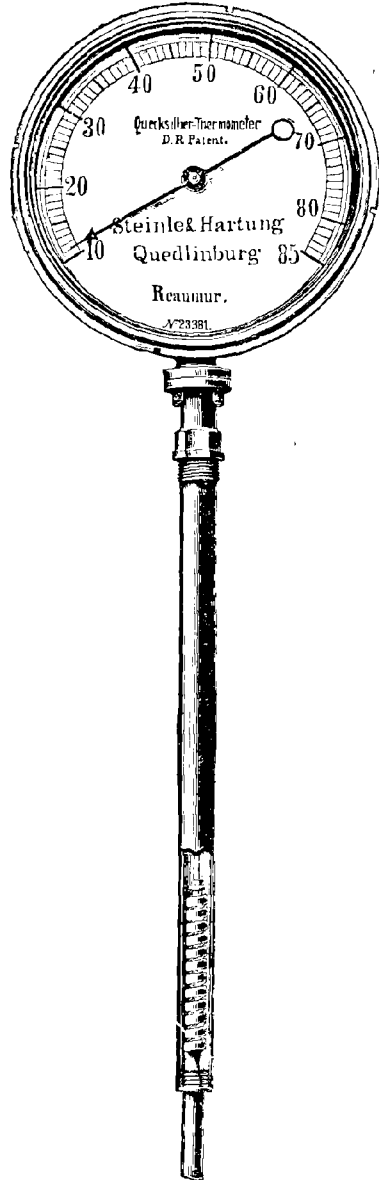


FIG. 281.

laquelle la soudure des deux métaux a été portée. Sous les chiffres de la graduation ordinaire de ce galvanomètre, on marque les températures des métaux en fusion dans lesquels on plonge la soudure du couple. Pour chacune de ces températures, l'aiguille du galvanomètre prend une position différente que l'on repère. La graduation est continuée par interpolation.

M. Le Châtelier se sert d'un couple formé de platine et d'un alliage de platine et de 10 0/0 de rhodium qui peut supporter des tempéra-

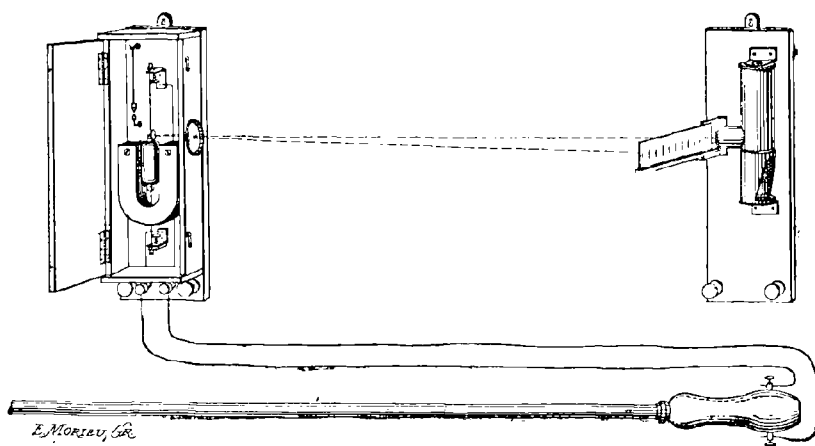


FIG. 282.

tures allant jusqu'à 1.600°. En remplaçant ce couple par un autre formé d'iridium pur et d'iridium allié à 10 0/0 de ruthène, Heraeus a pu mesurer des températures voisines de 2.100°.

Le pyromètre Le Chatelier est très commode et très exact lorsqu'il s'agit de mesurer la température régnant en un point précis d'une enceinte chauffée ou le point de fusion d'un bain métallique. S'il s'agit d'apprécier la température moyenne d'un four, d'une masse de métal incandescente, etc., on emploie plus avantageusement les pyromètres optiques basés sur l'observation et l'intensité lumineuse des corps incandescents. Ces appareils, tout en étant plus précis que l'œil, agissent avec toute sa simplicité.

Le pyromètre optique de Le Châtelier est un véritable photomètre, dans lequel on compare l'intensité lumineuse du corps étudié avec une source lumineuse prise comme point de comparaison.

Cet appareil se compose d'une lunette avec laquelle on vise la partie du four à étudier. Sur cette lunette est soudé perpendiculairement un tube par lequel arrivent les rayons lumineux d'une petite lampe à essence servant d'étalon.

Ces rayons lumineux forment image sur un miroir à 45° et, en plaçant devant un diaphragme de diamètre variable une série de verres fumés, on arrive à égaliser l'intensité de l'image venant du four et celle de la lampe étalon. Devant l'oculaire, on place un verre rouge de façon à n'avoir que des rayons monochromatiques.

Pour graduer l'instrument, c'est-à-dire pour savoir quelle température a été observée quand il y a eu égalité de l'intensité des images produites par l'interposition d'un certain nombre de verres fumés derrière le diaphragme, il suffit de viser une petite sphère de palladium chauffée sur la soudure d'un couple thermo-électrique, jusqu'à ce qu'il se produise la même égalité.

Cette graduation faite d'avance permet de déduire immédiatement la température du nombre de verres interposés.

MANOMÈTRES

Pour déterminer la pression exercée par les gaz ou les liquides sur les parois des récipients qui les contiennent, on emploie les manomètres à mercure ou à ressort.

Les manomètres à mercure peuvent être à air libre ou à air comprimé. Les premiers sont généralement préférés, car ils sont d'un manie- ment plus facile et fournissent des indications plus exactes ; la sensi- bilité des manomètres à air comprimé diminue au fur et à mesure que la pression mesurée augmente, ce qui est une circonstance très défavorable.

La figure 283 représente le type courant des manomètres à air libre. L'aiguille est reliée à un flotteur placé à la partie supérieure du mer- cure par un fil passant sur une poulie très mobile. Elle indique cons- tamment la pression existant dans la conduite ou le récipient auquel le manomètre est relié par son autre branche.

Pour éviter que l'échelle ne soit trop longue et d'une lecture difficile, la partie supérieure de la branche débouchant à l'air libre peut être

élargie (*fig. 284*). Les variations de niveau du mercure sont transmises à l'aiguille par un flotteur et un fil, comme dans le modèle précédent.

Les manomètres à mercure présentent beaucoup plus de garanties de sûreté et d'exactitude que les manomètres à ressort métallique; ils sont peu employés pour des pressions un peu élevées, en raison de leur fragilité et de leur grande hauteur. Cependant ils rendent de grands services pour la vérification des manomètres et des indicateurs de vide métalliques.

Les manomètres métalliques sont de deux sortes, suivant que l'organe principal est un tube fermé (manomètres Bourdon) ou une plaque d'acier ondulée.

Dans les manomètres Bourdon, la vapeur ou le gaz comprimé pénètre

dans un tube métallique de section ovale recourbé comme le montre la figure 285. L'extrémité par laquelle pénètre la vapeur est fixe, l'autre est mobile et reliée à une aiguille par un petit levier qui

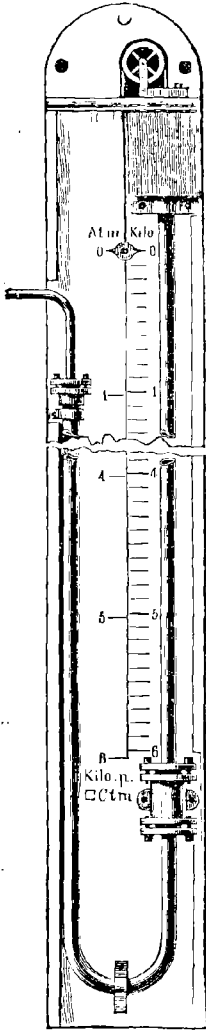


FIG. 283.

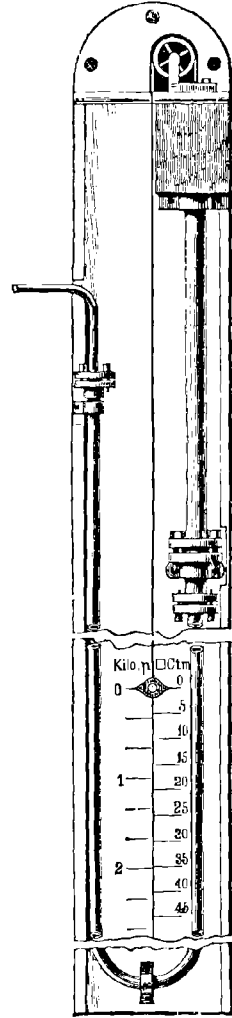


FIG. 284.

amplifie considérablement ses mouvements. Ce même résultat peut être obtenu à l'aide d'un secteur denté et d'un petit pignon. Lorsque le tube est soumis à l'action d'une pression intérieure, ses extrémités tendent à s'écarter l'une de l'autre et, comme l'une d'elles est fixe, l'autre seule se meut et met en mouvement l'aiguille qui se déplace sur un cadran gradué par comparaison avec un manomètre à mer-

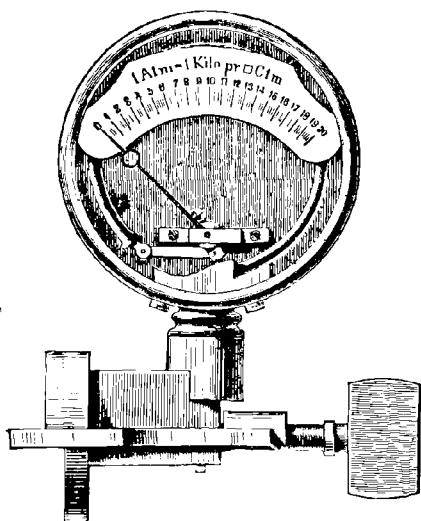


FIG. 285.

cure. Ces appareils sont robustes et peu coûteux; aussi sont-ils très répandus.

Dans les manomètres métalliques du second groupe, l'organe principal est une lame d'acier circulaire et ondulée (*fig. 286*), exposée par l'une de ses faces à l'action de la vapeur. Cette face est recouverte d'une mince couche de laiton afin de la préserver de l'oxydation. L'organe de transmission du mouvement à l'aiguille est un secteur denté et un pignon.

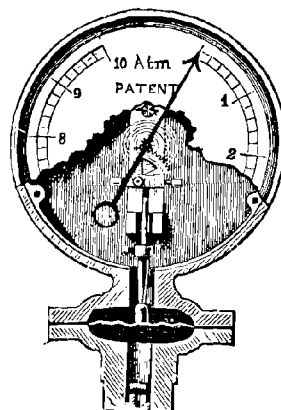


FIG. 286.

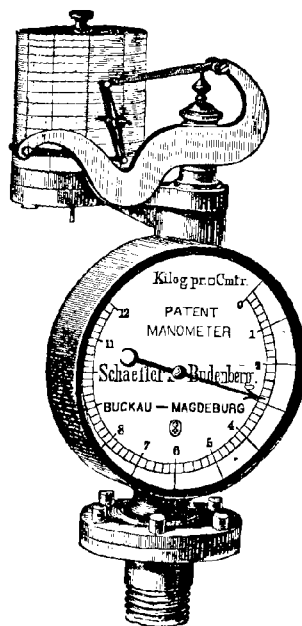


FIG. 287.

Pour s'assurer que la pression maxima n'a pas été dépassée, l'aiguille du manomètre peut entraîner un index mobile dans un seul sens. Cet index marque d'une façon permanente la plus haute pression indiquée par l'instrument. Enfin, le manomètre peut encore être combiné avec un appareil enregistreur automatique, qui décrit sur une bande de papier une courbe retraçant toutes les variations de la pression au cours d'un intervalle de temps donné (*fig.* 287).

Les manomètres et particulièrement leurs ressorts doivent être efficacement protégés d'une température trop élevée, qui aurait pour effet de faire varier leur élasticité et provoquerait ainsi l'inexactitude de leurs indications.

Pour cette raison les manomètres ne doivent jamais être installés sur un point où la température soit telle qu'on ne puisse y maintenir la main.

Pour empêcher la vapeur vive de pénétrer dans le manomètre et attaquer les ressorts, il importe que la communication du manomètre avec le dôme de la chaudière soit établie au moyen de tubes courbés formant siphon.

En outre, la loi prescrit d'intercaler un robinet à trois voies qui non seulement permet d'établir la communication entre le manomètre et la chaudière, mais aussi entre le premier et l'air libre. Dans ce dernier cas, la pression du manomètre tombe, l'aiguille retourne au zéro, et l'on obtient ainsi un contrôle partiel de l'instrument.

Les robinets d'arrêt doivent être ouverts et fermés lentement afin d'éviter les avaries causées par les changements brusques de pression. Cette recommandation est encore plus importante lorsqu'il s'agit de mesurer la pression des gaz comprimés ou liquéfiés qui peut atteindre 150 atmosphères. Dans ce cas, le raccord du manomètre contient plusieurs plaques de feutres séparées entre elles par des toiles métalliques, le tout étant serré fortement entre deux bouchons troués et bien ajustés. Les gaz doivent traverser cette épaisseur de feutre avant de venir exercer leur pression sur le manomètre. Il en résulte que leur vitesse est considérablement diminuée, et l'on évite ainsi automatiquement tout accroissement brusque de pression lors de la mise en service. De plus, le fond de ces manomètres est formé d'une plaque mobile à charnière retenue par un faible ressort lui permettant de céder immédiatement à la pression

en cas de fissure du tube et éviter ainsi la rupture du boîtier du manomètre.

Les manomètres à haute pression sont construits avec les tubes cintrés en acier. Il est préférable, pour augmenter la durée et conserver l'exactitude des manomètres, de les choisir d'un diamètre un peu grand, car le ressort est d'autant moins durable qu'il est plus petit et, en outre, il est bon de les prendre gradués au double de la pression à laquelle ils sont exposés habituellement.

Les manomètres peuvent servir encore à mesurer et indiquer à distance la hauteur de liquide contenue dans un réservoir, une citerne, etc., d'accès difficile.

L'appareil employé se compose d'une cloche à air à placer au fond du réservoir, d'un manomètre métallique à grande membrane et d'un tuyautage en cuivre reliant ces deux pièces; selon la hauteur du liquide, l'air renfermé dans la cloche se trouve plus ou moins comprimé. Cette compression se transmet au manomètre dont l'aiguille indique la hauteur du niveau et ses variations. La division du cadran se fait en mètres d'eau.

MESURE DU TIRAGE

La connaissance de l'intensité du tirage des cheminées permet de se rendre compte de l'activité plus ou moins grande de la combustion ou des circonstances qui s'opposent à sa marche normale. Les appareils servant à la mesure du tirage sont les indicateurs du tirage. La mesure se fait généralement à la sortie du foyer, dans le carneau allant à la cheminée, mais avant le registre réglant le tirage.

Les appareils les plus simples employés dans ce but sont basés sur le principe du baromètre à cuvette. Pour rendre les lectures plus faciles, la tige reliée à la cuvette est inclinée de $1/20$ ou $1/40$, suivant que l'appareil fonctionne avec de l'eau ou de l'alcool. Il s'ensuit que, même pour une faible dépression, le liquide parcourt un chemin sensible dans le tube.

On emploie aussi un appareil formé par deux flacons ayant une

section dix fois plus grande que le tube en U qui les réunit pour en faire deux vases communicants. Dans l'un des flacons, on met du phénol coloré en rouge ou en noir ; dans l'autre, de l'eau, et on s'arrange de façon que la séparation des liquides corresponde avec le zéro de la graduation. Le flacon à phénol communique avec l'atmosphère ; l'autre, par un tube en caoutchouc, avec le tube en fer placé dans le carneau de la cheminée.

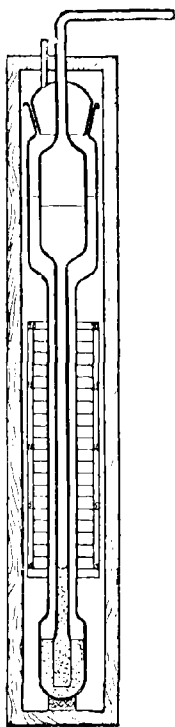


FIG. 288.

Toute dépression de 1 millimètre dans le flacon rempli d'eau se traduit par une variation de 1 centimètre du niveau de la surface de séparation des deux liquides.

D'autres constructeurs emploient un appareil constitué par deux tubes concentriques (*fig. 288*), le tube extérieur étant fermé à sa partie inférieure et le tube intérieur relié à la cheminée par sa partie supérieure. Le premier tube renferme une petite quantité d'un liquide dense et coloré. Au-dessus de ce liquide et dans les deux tubes se trouve un liquide incolore de densité peu élevée. Les deux niveaux occupés par ce liquide sont choisis de façon telle que la surface du liquide coloré et dense se trouve au zéro de l'échelle. L'appareil indique directement la dépression en millimètres d'eau.

D'autres appareils entièrement métalliques sont construits comme les indicateurs de vide ; l'organe essentiel est une membrane en acier soumise d'un côté à la pression atmosphérique, de l'autre à la pression réduite. Les mouvements de cette membrane sont amplifiés et transmis à une aiguille se déplaçant sur un cadran gradué.

CONTROLE DE LA COMBUSTION

L'analyse des gaz provenant de la combustion présente un grand intérêt, car elle permet de se rendre compte si cette combustion est

complète ou non et, en outre, si l'air n'est pas introduit en excès dans le foyer.

On peut ainsi se rendre compte de l'état de l'atmosphère qui, suivant l'opération que l'on a en vue, doit être oxydante ou réductrice et contrôler la bonne utilisation de combustible.

L'observation directe du foyer et de la couleur des gaz sortant de la cheminée fournit des indications très utiles. Si la flamme est courte, claire, à contours nets, se terminant en pointe, l'atmosphère est oxydante. Si la flamme est longue, fuligineuse, de forme indécise, l'atmosphère est réductrice.

Si les gaz sortant par la cheminée sont de teinte noirâtre, la combustion est incomplète; s'ils sont bleuâtres, la combustion est moyenne; s'ils ont une teinte bleu clair à peine foncée, la combustion est parfaite.

Si l'on désire connaître exactement la composition des gaz, il faut avoir recours à l'analyse chimique que l'on effectue au moyen de la burette de Bunte ou de l'appareil Orsat.

La teneur des gaz en acide carbonique présente une importance essentielle. Aussi s'est-on ingénié à inventer des appareils permettant de la déterminer sans avoir recours à l'analyse chimique. Ces appareils sont établis en tenant compte du fait que, le gaz carbonique étant beau-

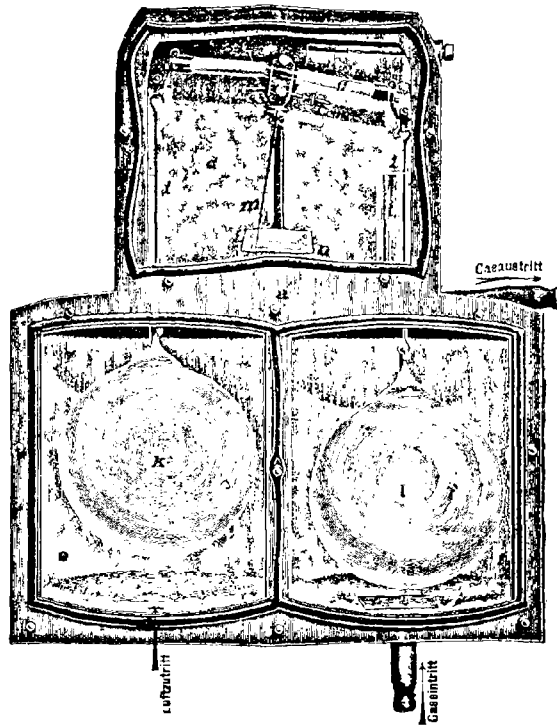


FIG. 289.

coup plus dense que l'air, les gaz du foyer sont d'autant plus lourds qu'ils en renferment une proportion plus élevée.

Nous décrirons ici l'un de ces appareils représenté par la figure 289 et dû à la maison Custodis. Une enveloppe en fonte, fermée à la partie antérieure par des glaces est divisée en trois chambres séparées les unes des autres *d*, *e* et *f*. Dans le compartiment *d* se trouve un fléau de balance très sensible, portant à chacune de ses extrémités deux ballons en verre d'un égal volume exactement équilibrés. Lorsque les trois chambres *d*, *e*, *f* sont remplies d'air atmosphérique, le fléau est dans une position exactement horizontale et l'aiguille *m* se trouve au zéro de la graduation *n*.

Si l'on remplace l'air contenu dans l'une des chambres par un gaz plus dense, le ballon correspondant reçoit une poussée plus considérable et, par suite, l'équilibre est rompu, le fléau s'élevant de ce côté; l'aiguille prend une nouvelle position fixe après quelques oscillations. Partant de cette donnée, que la poussée est proportionnelle à la densité des gaz et, par suite, à leur teneur en CO_2 , on gradue l'échelle en divisions indiquant la proportion d'acide carbonique renfermée dans 100 volumes de gaz. Il suffit alors de faire circuler constamment ces gaz de foyer dans l'une des chambres de l'appareil pour pouvoir suivre toutes les variations de cette proportion. L'autre chambre est en communication permanente avec l'atmosphère, de façon à participer à toutes les variations de pression ou de température. Il est évident que les gaz du foyer envoyés à l'appareil doivent être préalablement ramenés à la température du local dans lequel celui-ci est installé. Le même appareil peut servir à contrôler les variations d'un mélange d'air avec un gaz quelconque; il suffit pour cela de modifier en conséquence la graduation de l'échelle.

CHAPITRE XI

VENTILATION ET ÉLIMINATION DES POUSSIÈRES

La ventilation et l'élimination des poussières formées dans les locaux sont une nécessité impérieuse dans un grand nombre d'industries chimiques.

On doit reconnaître qu'il a été beaucoup fait dans le cours de ces dernières années pour protéger les ouvriers contre les influences nuisibles du travail industriel. Malgré ces efforts, dus les uns à l'incitation des pouvoirs publics, les autres à l'initiative privée, il reste encore de grands progrès à faire dans cette voie.

L'élimination des gaz et vapeurs nuisibles et l'entraînement des poussières présentent une grande importance pour la santé des ouvriers, car la respiration prolongée d'air chargé de gaz nuisibles ou de poussières provoque une inflammation des organes respiratoires, lesquels deviennent ainsi un terrain particulièrement propre au développement des bacilles de la tuberculose.

La ventilation a pour but de remplacer l'air souillé par de l'air pur ; on peut arriver à ce résultat soit en envoyant de l'air pur dans les locaux à ventiler, soit encore en aspirant l'air souillé au fur et à mesure de sa production. Ces moyens peuvent s'appliquer à la ventilation générale des locaux ou à la ventilation particulière de la machine ou des appareils qui souillent l'air.

Pour la ventilation générale, on a toujours recours à un ventilateur à hélice, tandis que, pour la ventilation particulière, il est plus avantageux d'avoir recours à un ventilateur centrifuge ou exhausteur.

Les conduites d'air doivent être d'un grand diamètre, au moins égal à celui que possède l'orifice de sortie du ventilateur à hélice, car la vitesse de l'air est très faible.

S'il s'agit d'enlever l'air souillé par des gaz plus légers que lui ou échauffés, il suffit d'installer un ventilateur à hélice dans le plafond du local et de ménager sur le sol plusieurs ouvertures destinées à laisser pénétrer l'air frais, de manière à produire une circulation continue. Si, pour une raison ou une autre, le ventilateur ne peut être installé au plafond lui-même, on le placera sur l'un des murs, mais toujours aussi haut que possible.

L'élimination de la vapeur d'eau, qui a toujours tendance à se condenser en produisant des nuages opaques très gênants, s'effectue en la déplaçant au moyen d'un courant d'air envoyé par un ventilateur dans la partie supérieure du local. L'air se sature de vapeur d'eau et se dégage par des ouvertures convenablement aménagées. Ce moyen ne fournit de bons résultats qu'autant que le temps est chaud et sec. Lorsque l'air extérieur est froid et humide, il est par lui-même saturé d'humidité et ne peut produire le résultat désiré. Dans ce cas, il est indispensable de faire passer cet air à travers un appareil de chauffage, de manière à le sécher et à le rendre capable d'absorber une nouvelle quantité d'eau et, par suite, d'éliminer les vapeurs gênantes.

La table suivante indique les quantités d'eau nécessaires pour saturer d'humidité 1 mètre cube d'air, à diverses températures :

Température	Poids d'eau contenu dans 1 m ³ , à air saturé d'humidité.
— 15° C.....	287,0
— 10	2 8
— 5	4 »
0	5 »
+ 5	7 »
10	9 5
15	12 5
20	17 »
30	28 8
40	54 »
50	90 »
60	145 »
70	200 »
80	480 »

L'absorption de la poussière au moment même de sa production est la seule solution véritablement efficace, car on évite ainsi qu'elle ne se répande dans tout l'atelier. La figure suivante 290 représente un schéma d'installation de ce genre due à la maison Farcot.

La disposition la plus avantageuse consiste à placer la machine ou l'appareil producteur de poussière (broyeur, mélangeur, etc.) dans une enveloppe en bois ou en tôle hermétiquement close et à relier cette enveloppe avec une canalisation absorbant l'air et la poussière au fur et à mesure de sa production. Cette façon de faire est rarement applicable aux appareils de l'industrie chimique. Le plus souvent on doit se contenter de disposer quelques bouches d'aspiration au-dessous des appareils ou dans leur proximité immédiate. L'air environnant est aspiré et avec lui les poussières sont en grande partie entraînées, et cela d'autant mieux qu'elles sont plus légères. Les canalisations servant à conduire l'air chargé de poussières doivent être aussi bien que possible préservées de l'humidité. Sans cette précaution la poussière ne tarde pas à se fixer sur leurs parois et à diminuer considérablement la section. On emploie avec avantage, pour cette raison, les tuyaux en grès vernissé. L'aspiration est généralement produite par un exhausteur à force centrifuge.

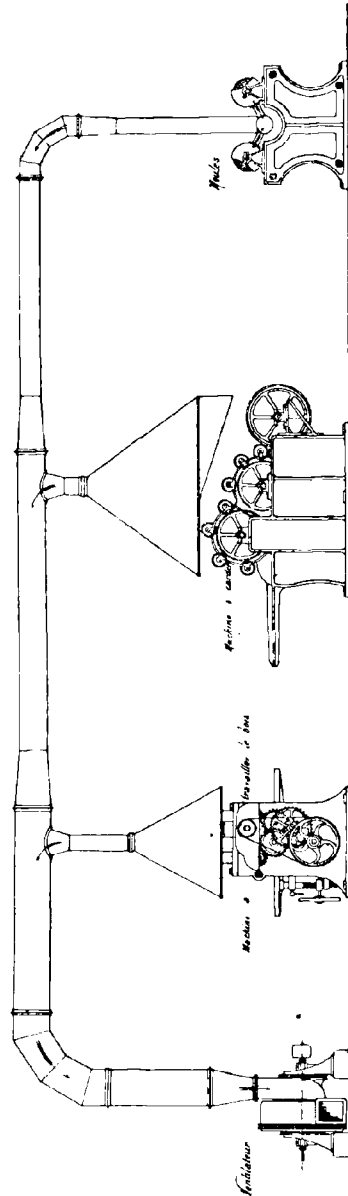


Fig. 290.

La poussière aspirée peut être entraînée à travers l'exhausteur ou préalablement retenue à l'aide d'un filtre. Cette dernière disposition est indispensable lorsque l'air est chargé de poussières de substances explosives ou facilement inflammables.

Si l'on n'attache aucune importance à la récupération de la matière pulvérulente, on peut intercaler sur la conduite d'aspiration

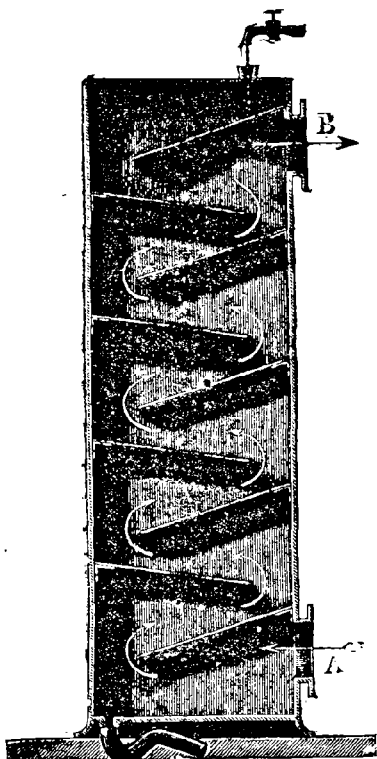


FIG. 291.

un filtre humide. La figure 291 représente un appareil de ce genre breveté par Arens et Lamb.

Cet appareil se compose d'une caisse verticale à section rectangulaire, dans laquelle sont disposés des plans inclinés alternativement dans un sens et dans l'autre, de telle façon que l'air doit les lécher tous avant de quitter l'appareil. Les plans inclinés sont recouverts de flanelle pelucheuse, de manière à retenir la poussière. En outre, une petite quantité d'eau arrive continuellement par la partie supérieure et se répartit éga-

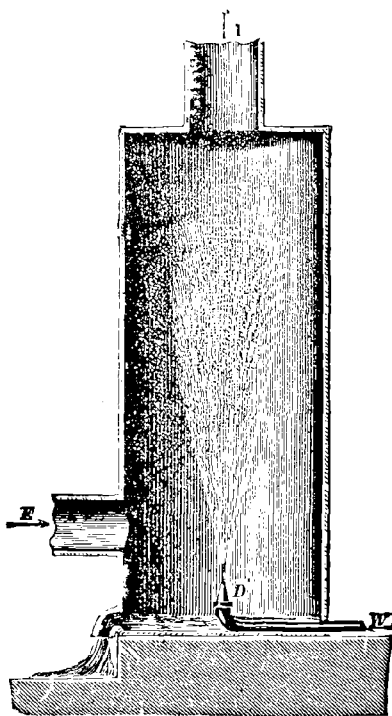
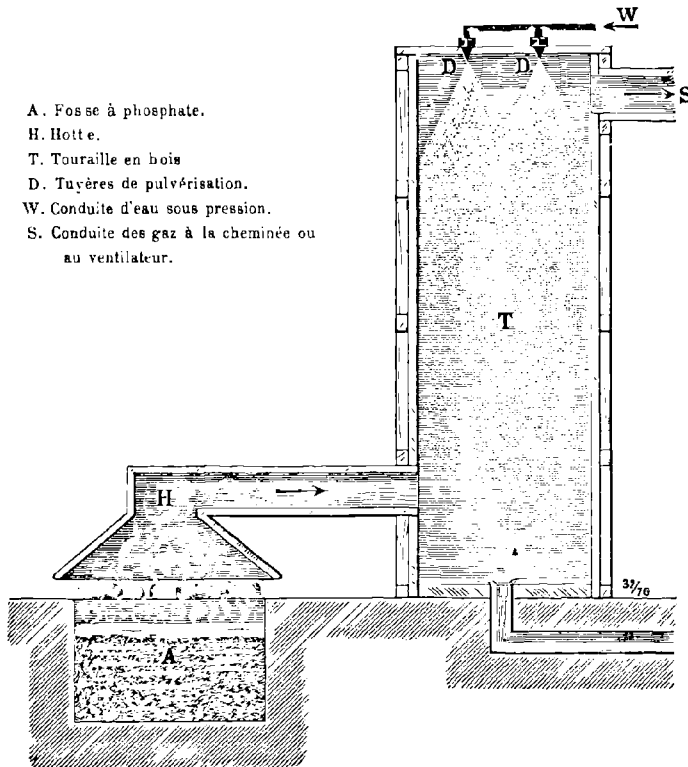


FIG. 292.

lement sur toute la surface des plans inclinés en s'écoulant du premier au dernier. Finalement cette eau est rejetée à la partie inférieure de l'appareil. La quantité d'eau nécessaire pour maintenir les tissus constamment humides est très faible grâce à cette disposition.



- A. Fosse à phosphate.
- H. Hotte.
- T. Touraille en bois
- D. Tuyères de pulvérisation.
- W. Conduite d'eau sous pression.
- S. Conduite des gaz à la cheminée ou au ventilateur.

FIG. 293.

L'air chargé de poussières entre par A et parcourt l'appareil dans le sens indiqué par les flèches; il change fréquemment de direction, ce qui l'oblige à abandonner les poussières qu'il entraîne sur les surfaces inégales et humides avec lesquelles il vient en contact. Les sections offertes au passage de l'air sont suffisantes pour qu'il n'éprouve aucune résistance appréciable; finalement, il s'échappe par B.

La partie antérieure de l'appareil est mobile, de façon à en faciliter le nettoyage. La proportion des poussières que l'on peut ainsi retenir dépasse 99 0/0.

Dans d'autres cas, on se contente de purifier l'air en le faisant passer dans un tour (*fig. 292*), où il rencontre un jet d'eau finement pulvérisé. Ce jet est obtenu au moyen d'une tuyère Koerting. La poussière étant maintenue au contact des particules liquides ne tarde pas à se précipiter ; elle est entraînée par l'eau et peut être rassemblée par

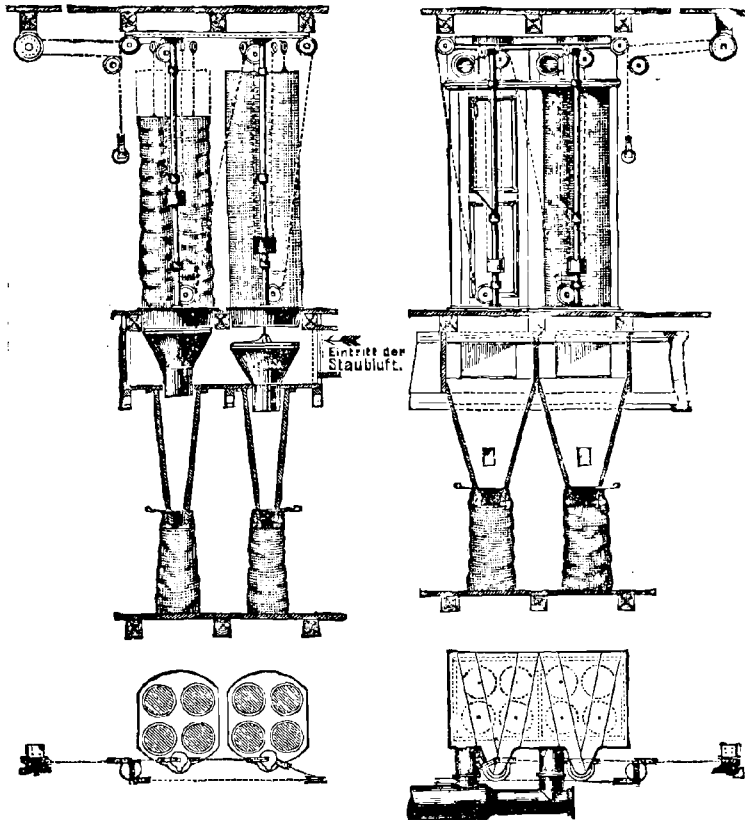


FIG. 294.

repos de celle-ci et recueillie de temps à autre. Dans certains cas, la valeur de la matière ainsi recueillie couvre la majeure partie des frais de dépoussiérage.

La figure 293 indique l'application de l'eau pulvérisée à l'aide de tuyères Koerting à la condensation des vapeurs acides qui prennent naissance lorsque l'on traite les phosphates naturels par l'acide sulfurique en vue de les transformer en superphosphates.

Lorsque le produit à récupérer ne doit pas venir au contact de l'eau, pour conserver sa valeur, on emploie un procédé de filtration à sec. La figure 294 représente un de ces filtres construits d'après les brevets Yeacks et Behrens. L'appareil se compose d'une caisse en bois ou en tôle close de toutes parts, renfermant une série de quatre sacs en tissu de laine ou de fil. Ces sacs sont fermés à leur extrémité supérieure par un couvercle en bois ; ils sont ouverts à l'autre et en relation avec la canalisation d'amenée de l'air chargé de poussières. Celui-ci est donc obligé de traverser le tissu formant les parois des sacs et d'abandonner à leur intérieur les matières solides qu'il tient en suspension. Les sacs sont maintenus soulevés et tendus par l'action d'un contrepoids. Lorsque l'on veut les débarrasser de la matière qui s'est déposée sur leur surface intérieure, on fait passer l'air dans un deuxième groupe de quatre appareils semblables et on secoue vivement les premiers, ce qui a pour effet de rassembler la matière pulvérulente dans une trémie placée au dessous. Cette matière est alors recueillie en ouvrant un registre convenablement disposé ; elle est alors prête à être de nouveau employée.

Les filtres à air qui viennent d'être décrits peuvent aussi bien filtrer de l'air sous pression que de l'air aspiré. En choisissant un tissu approprié, ils permettent de retenir les poussières les plus fines.

Si l'on n'attache aucune importance à la récupération de la poussière et s'il n'y a pas lieu de redouter une explosion due à l'accumulation de matières très divisées dans l'enveloppe de l'exhausteur, on peut détruire la poussière d'une façon plus simple. Il suffit de faire barboter l'air soufflé par l'exhausteur dans une fosse pleine d'eau. Les matières solides entraînées s'accumulent peu à peu au fond de la fosse et sont retirées de temps à autre. On peut encore les entraîner au fur et à mesure par un courant d'eau continu.

Si ce moyen ne peut être employé, on installe une chambre à poussière sur le trajet parcouru par l'air avant de se répandre dans l'atmosphère. Cette chambre à poussière est un local isolé, généralement construit en planches et renfermant des cadres de bois sur lesquels sont tendus des tissus appropriés. Les cadres ne garnissent pas toute la section de la chambre, ils laissent un espace libre pour le passage de l'air, et ces espaces sont alternés de manière que l'air ait un grand trajet à parcourir. La section libre offerte au passage de l'air est de plus

en plus grande afin que sa vitesse diminue de plus en plus. L'air est d'autant plus pur à sa sortie que sa vitesse est plus faible, car il est alors incapable d'entraîner les poussières toujours beaucoup plus denses que lui. L'air souillé entre par une ouverture placée près du sol, tandis que l'air purifié est conduit au-dessus du toit par une cheminée. Les tissus filtrants tendus sur les cadres doivent être débarrassés de temps à autre de la poussière adhérente en les frappant ; sans cette précaution

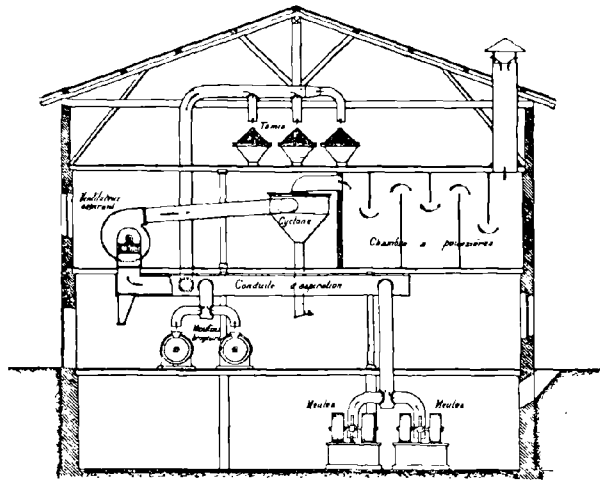


FIG. 295.

leur action ne tarderait pas à diminuer considérablement. La chambre à poussière doit être munie d'une porte permettant d'enlever les cadres et de le remettre en place sans difficulté.

On peut encore utiliser la force centrifuge pour réaliser la purification de l'air chargé de poussières. L'appareil dit *cyclone* est constitué par une enveloppe en tôle ayant la forme d'un entonnoir vertical. L'air, animé d'une grande vitesse, est dirigé tangentiellement sur les parois du cône de l'entonnoir de façon qu'il prenne un mouvement de rotation très rapide. Les poussières étant plus lourdes se déposent sur les parois inclinées de l'appareil, glissent et se rassemblent dans la tubulure de l'entonnoir. On les évacue de temps à autre en ouvrant un registre. Le cyclone est généralement suivi de chambres à poussières retenant les particules les plus ténues qui auraient pu échapper à son action. La figure 295 représente une installation de ce

genre, appliquée à l'aspiration des poussières prenant naissance dans les fabriques de chaux, de ciment, de carbure de calcium, etc., due à la maison Farcot.

D'autres constructeurs font passer l'air à purifier dans une enveloppe cylindrique renfermant une spirale continue en tôle (*fig. 296*). Sous l'influence de la force centrifuge, les poussières se déposent sur les parois du cylindre ; on les recueille de temps à autre en ouvrant des clapets disposés à la partie inférieure de l'appareil.

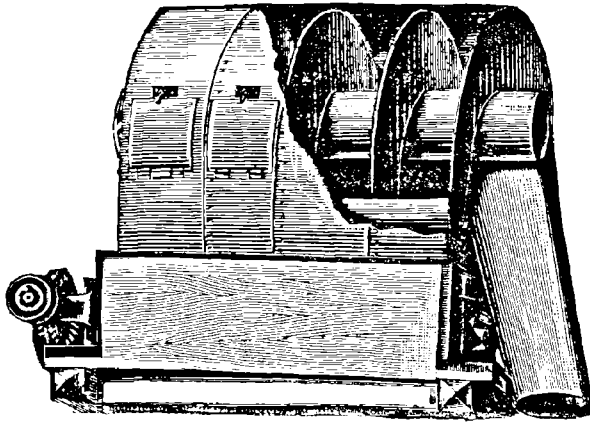


FIG. 296.

Pour un grand nombre de produits, la production de poussière n'est pas limitée au cours de la fabrication ; elle se fait sentir d'une façon très gênante lorsqu'il s'agit de mettre ces produits en sacs ou en barils pour l'expédition. Il est très utile de pouvoir protéger les ouvriers chargés de ce soin de l'action pernicieuse due à la respiration continue d'un air ainsi vicié.

La figure 297 représente un dispositif employé dans les fabriques de ciment de Stettin. Le transporteur à vis A prend la matière pulvérisée venant des broyeurs et l'amène au silo B. L'air renfermé dans celui-ci se trouvant déplacé tend à se dégager en entraînant une forte proportion de poussière. Mais cet air est aspiré par l'exhausseur D et dirigé vers les sacs filtrants E formés d'une mousseline très fine et non blanchie. La pression de l'air envoyé dans ces filtres doit être aussi faible que possible, de manière que la poussière ne soit

pas entraînée lorsqu'il se dégage à travers le tissu. Deux fois par jour, on secoue le sac filtrant pendant que le ventilateur est arrêté, et l'on recueille la matière qui s'y est rassemblée.

Lorsque le silo est plein et que son contenu doit être mis en ton-

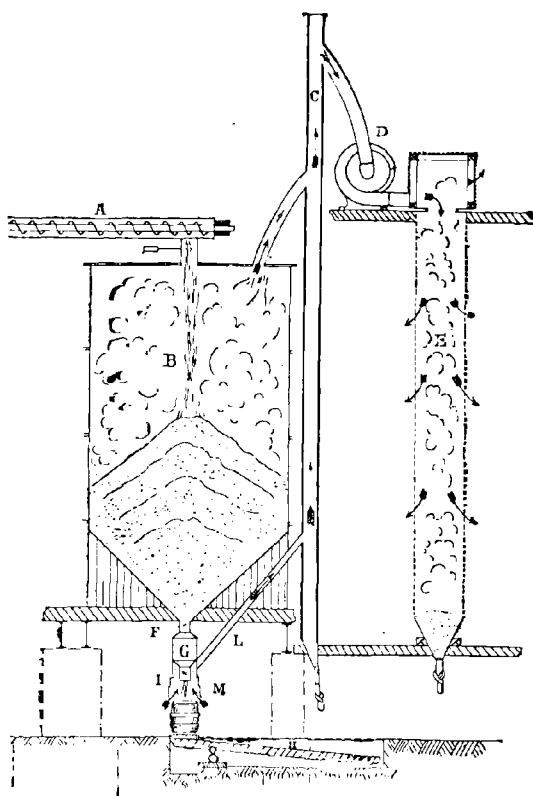


FIG. 297.

celles-ci n'incommodent les ouvriers. Dans ce but, cet air est aspiré par le tuyau L relié à l'exhausteur D. La partie inférieure du cylindre G porte une enveloppe en toile épaisse M, chargée d'un cercle en fer qui la maintient ouverte et la fait tomber verticalement. Cette enveloppe arrive au niveau supérieur du tonneau, mais permet cependant d'observer son remplissage progressif. Elle a pour effet d'empêcher les poussières de se répandre et de limiter l'aspiration de l'exhausteur à la zone utile. Cet air est également conduit au filtre E, de façon à le purifier. Lorsque le remplissage est effectué, on ferme le

tonneaux, on ouvre le registre F et fait couler le ciment dans le cylindre G dont la capacité est à peu près égale à celle de l'un des tonneaux. On ferme ensuite le registre F, on place un tonneau vide au dessous sur le dispositif à secousses H, et l'on fait écouler le ciment en ouvrant le registre I. Le contenu du cylindre G tombe peu à peu dans le tonneau et s'y tasse en raison des secousses imprimées à celui-ci. L'air chargé de poussières qui s'échappe du tonneau pendant cette opération doit être aspiré pour éviter que

registre I et ouvre F, et l'opération recommence exactement de même.

Dans certaines industries, les ouvriers sont affectés par la dessiccation et l'élévation de température de l'atmosphère dans laquelle ils travaillent. Il est alors nécessaire d'humidifier et de rafraîchir cons-

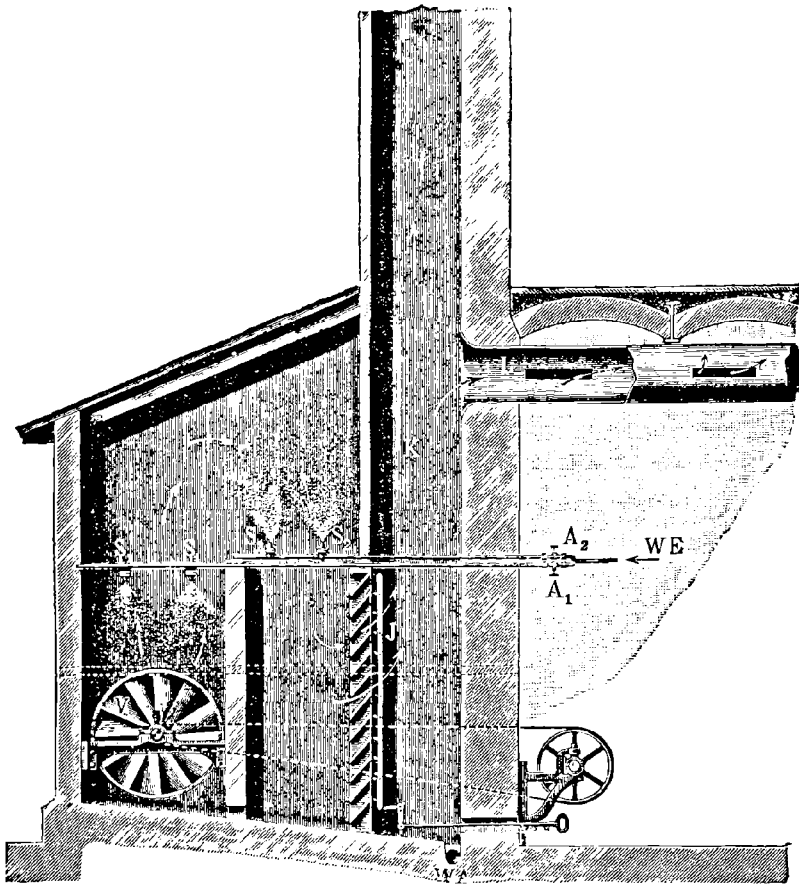


FIG. 298.

tamment l'air des ateliers ou des magasins. La figure 298 représente l'un des dispositifs employés dans ce cas dans les filatures, tissages, teintureries, etc.

La chambre d'humidification est divisée en deux parties renfermant l'une un ventilateur V et deux tuyères de pulvérisation d'eau

S¹, l'autre seulement deux tuyères S². Ces tuyères envoient de l'eau pulvérisée en sens inverse du courant d'air fourni par le ventilateur; cette eau s'évapore rapidement en provoquant l'abaissement de température de l'air et en même temps son humidification. En été, on alimente les tuyères d'eau fraîche, en hiver, d'eau chaude de façon à maintenir la température de l'air aussi constante que possible.

L'air frais et humide monte par la conduite K aux différents étages du bâtiment; il est distribué dans les ateliers par des tuyaux L munis de larges ouvertures. Par l'emploi de cette disposition, on obtient une régularité de température et d'humidité parfaite et, en été, un abaissement de 7 à 8° sur la température normale. L'évacuation de l'air vicié se fait par des cheminées ménagées à cet effet.

L'humidification de l'air peut également se faire en le faisant circuler dans des tours garnies de matières inertes, sur lesquelles on fait ruisseler constamment de l'eau fraîche.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	Pages. V
------------------------	--------------------

GÉNÉRALITÉS

Canalisations et Réservoirs	1
Confection des joints et garnitures de presse-étoupes	2
Calorifuges	5
Graissage des appareils et des machines	8
Robinets divers.	10
Valves	18
Vannes.	20
Purgeurs	30
Séparateurs d'eau de condensation.	40

CHAPITRE I

PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE

Générateurs de vapeur et foyers de chaudières.	55
Epuration des eaux industrielles.	56
Machines à vapeur.	60
Moteurs à gaz	66
Moteurs à pétrole et à essence légère.	66
Moteurs électriques	66
Moteurs hydrauliques, moteurs à air comprimé	80

CHAPITRE II

TRANSPORTS DE FORCE

	Pages.
Transmissions	88
Transports de force par l'électricité	88
Accumulateurs d'eau sous pression.	89
Applications de l'air comprimé	90

CHAPITRE III

TRANSPORT DES SOLIDES, DES LIQUIDES ET DES GAZ

Voies ferrées.	100
Transport par câbles de divers systèmes	105
Vis transportuses.	106
Transport par courroie	107
Chaînes à godets	108
Ascenseurs hydrauliques et électriques	111
Palans, moufles, treuils, etc.	113
Injecteurs, élévateurs, pulsomètres	122
Monte-jus.	128
Pompes.	131
Wagons-citernes, touries	144
Ventilateurs et exhausteurs	145
Pompes à vide.	150
Entrainement des vapeurs et gaz nuisibles	154

CHAPITRE IV

APPARELS DE BROyage

Concasseurs, sectorateur, moulins à cylindres	158
Moulins à meules, moulins à vis	161
Bocards, desintégrateur.	163
Broyeur Excelsior, dismembrateur	166
Broyeurs à boulets.	170
Broyeurs pour couleurs et pour indigo.	180

CHAPITRE V

MÉLANGEURS

	Pages.
Mélangeurs à vis d'Archimède.	183
Mélangeurs divers.	185
Mélangeurs pour liquides	196
Tours de Glover, tours à plateaux	199
Mélange des gaz	201

CHAPITRE VI

FUSION. — DISSOLUTION. — LIXIVIATION

Four à sole.	202
Fours à réverbère, fours tournants.	204
Autoclaves	207
Fours à calcination et à évaporation	210
Appareils pour la lixiviation méthodique.	212

CHAPITRE VII

CONCENTRATION

Bâtimens de graduation	214
Evaporation à feu nu. Appareil Thelen.	215
Evaporation dans les appareils rotatifs.	218
Bain de sable, bain d'huile, bain-marie.	220
Evaporation par la vapeur.	221
Chauffage par double fond.	226
Emploi de la vapeur et de l'eau surchauffées.	227
Multiple-effets	230
Condensation de la vapeur.	234

CHAPITRE VIII

PROCÉDÉS MÉCANIQUES POUR LA SÉPARATION DES CORPS

Tamis et cribles.	242
Trommels.	244
Clais	246
Séparateurs	247

	Pages.
Presses à vis et presses hydrauliques.	248
Essoreuses centrifuges	251
Décantation	262
Filtres-presses	265
Filtres à succion.	275
Filtres à sable et à éponge.	278
Séparation par cristallisation	280
Séparation par extraction.	282
Séparation par distillation simple ou fractionnée	287
Production industrielle du froid.	298
Séparation des liquides d'avec les gaz.	300
Séparation des gaz entre eux.	304

CHAPITRE IX

DESSICCATION

Dessiccation sur sole chauffée.	305
Etuves à dessiccation.	307
Canaux et fours à dessiccation	310
Tambours à dessiccation	316
Dessiccation dans le vide.	320

CHAPITRE X

APPAREILS DE CONTROLE

Détermination du poids.	325
Thermomètres et pyromètres.	327
Manomètres à vide et à pression.	333
Indicateurs de tirage.	337
Economètres.	338

CHAPITRE XI

VENTILATION ET ÉLIMINATION DES POUSSIÈRES

Renouvellement de l'air vicié des locaux industriels.	344
Abatage de poussières	344
Filtration de l'air chargé des poussières.	347
Humidification de l'air.	351

C. LECLAIRE

CONSTRUCTEUR

PARIS - Rue Saint-Maur, 140 - PARIS

Appareils spéciaux pour l'Industrie Chimique

FILTRES, PRESSES, POMPES A MEMBRANE

AUTOCLAVES, MONTE-JUS, COMPRESSEURS d'AIR, etc., etc.

SPÉCIALITÉ D'INSTALLATIONS COMPLÈTES

Pour l'Industrie Chimique minérale et organique

Entreprise à FORFAIT pouvant même comprendre la MISE en
MARCHE avec la collaboration d'un ingénieur-chimiste diplômé

PLANS, DEVIS et TOUS RENSEIGNEMENTS GRATUITEMENT
sur demande

Construction spéciale d'Essoreuses

POUR TOUTES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

FERNAND DEHAITRE ^{O.O}

CONSTRUCTEUR - MÉCANICIEN

PARIS -- 6, Rue d'Oran -- PARIS (18^e)

ESSOREUSES A DÉCHARGEMENT EN DESSOUS
pour Sulfate d'Ammoniaque, Anthracène, Sels de Soude, etc.

ESSOREUSES ÉLECTRIQUES

Essoreuses à panier plein et Transvaseur

POUR SÉPARATION PAR DENSITÉ

APPAREILLAGE MÉCANIQUE.

EN VENTE

à la Librairie H. DUNOD et E. PINAT, Éditeurs

49, quai des Grands-Augustins, PARIS, VI^e

Traité élémentaire de chimie organique, par M. BERTHELOT, membre de l'Institut, professeur au Collège de France, et E. JUNGLEISCH, membre de l'Académie de médecine, professeur à l'École de pharmacie. 4^e édition, avec de nombreuses figures, revue et considérablement augmentée :

Tome I^{er}. — In-8° 16 × 25 de xx-756 pages avec figures.

Généralités : Objets et méthodes de la chimie organique. Analyse élémentaire. Formules. Classification des substances organiques. *Carbures d'hydrogène* : Généralités. Acétylène. Etylène. Formène. Divers carbures *forméniques*, étyléniques, acétyléniques. Série benzénique. Série polyacétylénique. Série camphénique. *Alcools* : Généralités. Alcool éthylique. Les éthers. Alcools polyatomiques. Alcools diatomiques. Alcools triatomiques. Alcools polyatomiques d'atomicité élevée. Phénols proprement dits. Phénols à fonction mixte. *Aldéhydes* : primaires, secondaires. Camphres. Quinones. Aldéhydes-alcools d'atomicités peu élevées. Aldéhydes-alcools hexatomiques, heptatomiques, octatomiques, nonatomiques. Polysaccharides. Glucosides. Aldéhydes-phénols.

Tome II et dernier. In-8° 16 × 25 de 1.450 pages avec figures. Vendu séparément. 30 fr.

Acides : Acides en général. Acides monobasiques et acides bibasiques à fonction simple. Acides polybasiques de basicité élevée. Acides-alcools. Acides-phénols. Acides-alcools-phénols. Acides-aldéhydes. *ALCALIS* : Alcalis organiques en général. Alcalis monoammoniacaux. Alcalis diammoniacaux, triammoniacaux, tétrammoniacaux, hydraziniques, à fonction simple. Alcalis-phénols, alcalis-aldéhydes, alcalis-acides, alcalis naturels végétaux. *Amides* : Amides en général. Amides des acides monobasiques et polybasiques à fonction simple. Amides des acides à fonction mixte. Composés diazoïques. Amides hydraziniques. Matières albuminoïdes. Composés organométalliques.

Les tomes I et II ensemble. 50 fr.
(Le tome I ne se vend plus séparément.)

Traité d'analyse des substances minérales, par Adolphe CARNOT, membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, directeur de l'École supérieure des Mines.

Tome premier. Méthodes générales. In-8° 17 × 25 de 992 pages avec 357 fig.
Broché, 35 fr. ; cartonné. 36 fr. 50

Méthodes générales d'analyse qualitative et quantitative : Essais au chalumeau. Essais à la lampe à gaz. Essais au spectroscope. Essais microchimiques. Recherches qualitatives par la voie humide. Caractères principaux des bases et des acides. Réactifs, Opérations préliminaires (choix, pulvérisation, dessiccation et pesée des échantillons). Opérations de voie sèche. Opérations de voie humide. Electrolyse. Dosages pour les méthodes volumétriques. Essais colorimétriques. Analyse des gaz. Tableau des poids spécifiques des gaz.

Tome deuxième. Métalloïdes. In-8° 17 × 25 de 821 pages avec 81 figures.
Broché, 25 fr. ; cartonné. 26 fr. 50

Métalloïdes : Etat naturel, propriétés, dosages : de l'hydrogène, oxygène et eau, azote, argon, néon, krypton, xénon, helium, carbone et combustibles, cyanogène, chlore, brome, fluor, soufre, sélénium, tellure, germanium, phosphore et matières phosphatées, arsenic, bore, silicium, titane, tantale, niobium, tungstène, molybdène, vanadium.

Souscription à l'ouvrage complet en 4 volumes. 90 fr.

Étude générale des sels, par Alfred DITTE, membre de l'Institut, professeur de chimie à l'Université.

Tome I^{er}. Sels binaires. Un volume grand in-8° de 304 pages. . . . 10 fr. »
Tome II. Sels ternaires oxygénés. Un volume gr. in-8° de 384 pages. . . 12 fr. 50

L'eau dans l'industrie. Composition, influences, désordres, remèdes, eaux résiduaires, épuration, analyse (*Médaille d'argent de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale*). Par H. DE LA COUX, ingénieur-chimiste, expert près le Conseil de préfecture de la Seine, professeur de chimie appliquée à l'industrie à l'Association polytechnique. In-8° 16 × 25 de 500 pages avec 134 figures..... 15 fr.

L'eau. Son activité chimique. Composition des eaux. Corps qu'elles renferment. Sels solubles dans l'eau. Leur influence sur l'ébullition. *Emploi, désordres et remèdes dans l'industrie.* L'eau dans l'alimentation des générateurs de vapeur. Emploi dans les usines de teinture, d'impression, de blanchiment, dans l'industrie des textiles, en savonnerie, dans les blanchisseries et lavoirs, dans le travail des peaux, dans la préparation des tannants et colorants, en papeterie, en photographie, en sucrerie, dans la fabrication des glaces et boissons, dans celle du cidre, en brasserie et en distillerie. *Traitements préalables des eaux :* Corps et appareils servant à l'épuration. Précipitation. Épuration chimique. Filtrage. *Eaux résiduaires. Épuration. Analyse.* Recherches qualitatives. Hydrotimétrie. Dosage des corps dans l'eau.

L'ozone et ses applications industrielles, par H. DE LA COUX, ing. chimiste, inspecteur de l'enseignement technique au Ministère du Commerce. In-8° 16 × 26 de 560 pages avec 159 gr. Broché, 15 fr.; cartonné. 16 fr. 50

L'ozone : physique et physiologie. Des phénomènes d'oxydation dans la nature et de l'activité chimique de l'ozone dans l'industrie. Nature et propriétés physiques de l'ozone. Dans l'air atmosphérique. Action sur l'organisme. En thérapeutique. *Production de l'ozone :* Par les oxydations lentes, la chaleur, les sels radiatifs. Par les procédés chimiques. Par voie électrochimique. Par la décharge électrique. *Applications industrielles. Actions chimiques et microbiologiques.* Action chimique et utilisation dans l'industrie des produits chimiques. Action sur l'air, sur l'eau, les produits organiques, les alcools, les spiritueux, les vins, les vinaigres, le blanchiment, en amidonnerie, etc.; le traitement des huiles, grasses, savons, vernis, etc.; les matières colorantes, les parfums, les bois, la sériciculture, la blanchisserie, la photographie, etc. *Analyse et dosage.*

Le froid artificiel et ses applications industrielles, commerciales et agricoles, par J. DE LOVERDO, ing., avec une préface de M. E. TISSERAND, direct. honor. de l'agriculture. In-8° 17 × 25 de vi-632 pages avec 156 fig. Br., 12 fr. 50; cart..... 14 fr.

Froid mécanique : Production du froid artificiel. Quelques types de machines frigorifiques. Moteurs des installations frigorifiques. *Etablissements frigorifiques :* Entrepôts. Le prix du froid. Usines à glace. *Application du froid artificiel à l'alimentation :* De différents procédés de conservation. Conservation des viandes, du beurre, des œufs, du poisson, des volailles, du gibier, des fruits et légumes. Entrepôts des halles et marchés. *Applications du froid aux industries agricoles, horticoles et alimentaires :* Industrie du lait, fromagère, vinicole. Brasserie. Le froid en sériciculture, en horticulture. Chocolaterie. Hôtels et restaurants, châteaux, fermes, maisons de campagne. *Applications diverses :* Parfumerie, produits chimiques et pharmaceutiques. Laboratoires, morgues et hôpitaux. Rafraîchissement des lieux habités. Pistes de patinage. Fonçage des puits et tunnels. Industries et travaux divers. *Applications du froid aux transports :* Flotte frigorifique. Wagons réfrigérants. *Développement de l'industrie frigorifique en France et à l'étranger.*

Matières colorantes artificielles. — Série aromatique. — Ses applications industrielles. Science et applications, par Ch. GIRARD, directeur du Laboratoire municipal, et PAUST, chimiste principal au même Laboratoire. 2 vol. in-8° 16 × 25 de 824 p. avec fig. et 48 pl. 36 fr. 25

I. — Généralités. Traitement du goudron. Benzine. Nitrobenzine. Aniline. Méthylaniline. Diphénylamine. Phénylènediamine. Phénol, etc. Toluène. Orseille. Dérivés benzyliques, etc. Xylène et homologues. Indigo et ses dérivés. Butyltoluène. Musc artificiel. Diphénylméthane et ses homologues. Triphénylméthane. Vert malachite. Série de la rosaniline. Fabrication de la rosaniline et de ses sels. Brevets sur la série, etc. Dérivés oxygénés. Phtaléines, etc. *Diphényles et carbures analogues.* Naphtaline, etc. Anthracène, etc., etc. *Table des brevets* (jusqu'en 1890).

II. — Généralités. Corps diazoïques, etc. Corps azoïques, etc. Dérivés de la benzine, du toluène, du xylène, des acides, de la naphtaline. Tableau des dérivés. L'industrie des dérivés azoïques. Les hydrazines. Dérivés nitrosés et nitrés, Composés dimidés.

Pétrisseurs-Mélangeurs

POUR TOUTES LES APPLICATIONS DE L'INDUSTRIE
Construits en toutes grandeurs — Plus de 400 modèles
(Voir mention dans l'ouvrage, pages 110 et 187 à 190)
137 des plus Hautes Récompenses

PRESSES à VIS et HYDRAULIQUES, PRESSES à COMPRIMER
LAMINOIRS, MACHINES à CRIBLER
FOURS à VAPEUR pour SÉCHAGES, etc.

Installations complètes; Boulangeries, Biscuiteries, Pâtes Alimentaires

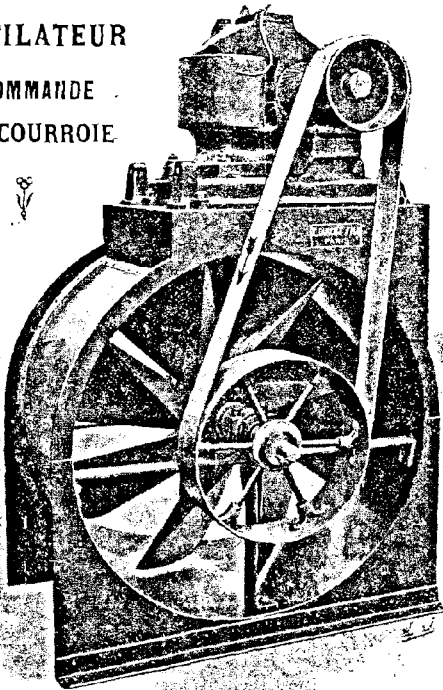
WERNER* & PFLEIDERER

INGÉNIEURS-CONSTRUCTEURS

PARIS (X^e) — 1^{er} bis, Boulevard Magenta — PARIS (X^e)
(Cannstatt, Londres, Moscou, Saginaw (E. U. A.), Vienne, Berlin, Cologne)

VENTILATEUR

A COMMANDE
PAR COURROIE



VENTILATION

INDUSTRIELLE

E. Fareot Fils

163, avenue de Paris

PLAINE-ST-DENIS

(Seine)

Voir pages :

314 — 315 — 320

343 et 347

