

CHAPITRE VI

POMPES A GAZ ET A LIQUIDES. — SIPHON

I. — MACHINES SERVANT A RARÉFIER OU A COMPRIMER LES GAZ.

166. **Machine pneumatique.** — C'est à Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, que paraît due la première réalisation, en 1654, d'un instrument destiné à extraire l'air des appareils, ou d'une *pompe à gaz*. On a fait subir, à l'appareil qu'il avait imaginé, un grand nombre de modifications. Nous décrirons d'abord la machine qui est le plus fréquemment employée.

Deux corps de pompe en cristal, C et C' (fig. 142), travaillés avec soin pour que l'intérieur soit bien cylindrique, et contenant chacun un piston, communiquent par leur partie inférieure avec un seul et même conduit en fonte A, qui vient s'ouvrir en O au centre d'un plateau p, ou *platine*; la platine est formée d'un disque de cristal, dressé à l'émeri, sur lequel on applique les cloches dans lesquelles on veut faire le vide. Un pas de vis, pratiqué à l'extrémité O du conduit, permet également d'y adapter les appareils dont on veut enlever les gaz. Nous appellerons *réceptif* l'espace dans lequel la machine doit opérer la raréfaction.

Les deux corps de pompe étant semblables, il nous suffira de décrire l'un deux. Le piston est formé de rondelles de cuir, pressées entre deux plaques métalliques dd', ee' (fig. 145), qu'on a serrées l'une contre l'autre, au moyen d'un pas de vis, pour forcer le cuir à s'appliquer sur la paroi intérieure du corps de pompe. La pièce métallique qui forme le noyau du piston est creusée, suivant l'axe, d'un canal qui la traverse entièrement : ce canal contient un petit disque de métal g, qui est maintenu faiblement appliqué sur les bords de l'ouverture a, par un petit ressort à boudin. Le piston est traversé par une tige métallique hh, qui y passe à frottement dur; cette tige porte à sa partie inférieure un bouchon conique de métal, qui peut s'engager dans l'entrée b du conduit; à sa partie supérieure, cette même tige porte un arrêt i, qui viendra buter contre la base supérieure du corps de

pompe, dès que le piston, en s'élevant, aura entraîné le bouchon conique à une petite distance au-dessus de l'ouverture b.

Des tiges à crémaillère T, T', articulées avec les pistons, engrènent avec une même roue dentée, qu'on mettra en mouvement alternativement dans un sens ou dans l'autre, à l'aide de la manivelle M, M'

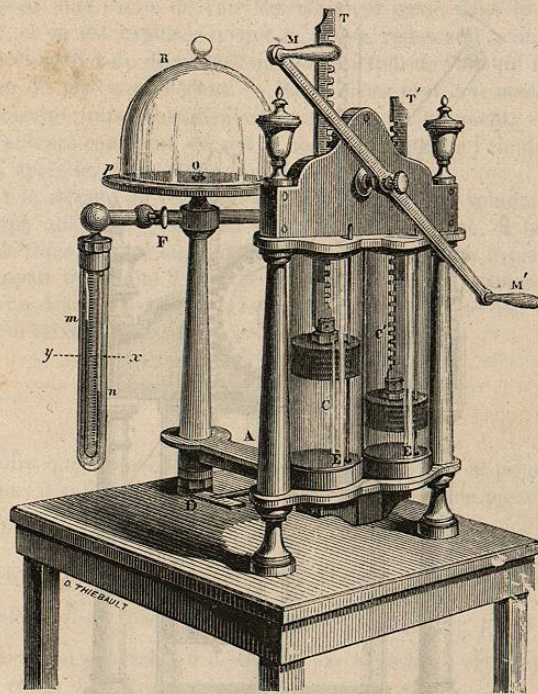


Fig. 142. — Machine pneumatique.

(fig. 142) : dans chacun de ces mouvements, l'un des pistons s'abaissera pendant que l'autre sera soulevé, et réciproquement.

167. **Jeu de la machine.** — Supposons que l'un des pistons, d'abord appliqué sur le fond du corps de pompe, vienne à être soulevé (c'est le mouvement qu'indique la figure 145 pour le piston de gauche P). Le bouchon conique est soulevé un peu au-dessus de l'ouverture b; mais bientôt la tige vient buter, par son arrêt i, contre la base supérieure du corps de pompe, et le piston continue seul à monter; l'air contenu dans le réceptif acquiert, en se répandant dans le corps de pompe, un volume toujours croissant et par suite une force élastique

décroissante. Pendant tout ce temps, le disque g reste appliqué sur l'ouverture a , puisqu'il supporte en dessus la pression atmosphérique, qui est supérieure à la pression actuelle de l'air dans le récipient. — Supposons maintenant que le piston, arrivé au haut de sa course, soit abaissé : la tige hh sera entraînée et le cône inférieur viendra presque

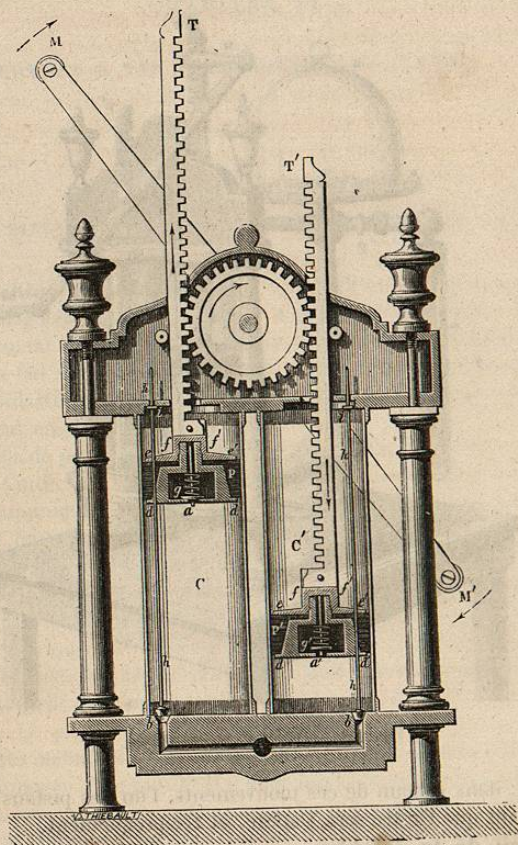


Fig. 145. — Coupe verticale des corps de pompe et des pistons.

immédiatement s'appliquer dans l'ouverture b et interrompre la communication entre le récipient et le corps de pompe : l'air enfermé dans le corps de pompe, et comprimé par le piston, soulèvera le disque g quand sa force élastique sera devenue supérieure à la pression atmosphérique, et il continuera à s'échapper par l'ouverture a jusqu'à

ce que le piston soit au bas de sa course (c'est le mouvement que suppose la figure pour le piston de droite P'). — Les mêmes phénomènes se reproduiront chaque fois qu'on fera successivement monter et descendre l'un des pistons, c'est-à-dire à chaque *coup de piston*.

168. **Loi de décroissement de la force élastique, en supposant la machine parfaite.** — Chaque fois que l'on fait monter l'un des pistons, une partie de l'air du récipient passe dans le corps de pompe, et en est expulsée quand le piston redescend : on n'enlève donc, à chaque coup de piston, qu'une fraction de l'air qui était resté au coup de piston précédent. — Donc, même avec une machine parfaite, il serait impossible d'enlever tout l'air du récipient. — Examinons d'ailleurs comment décroît la force élastique de l'air dans le récipient, après les coups de piston successifs.

Soit V le volume du récipient et des conduits, v le volume du corps de pompe quand le piston est au haut de sa course, H la pression atmosphérique. Quand on soulève pour la première fois le piston, l'air, qui occupait le volume V sous la pression H , occupe le volume $V + v$; si donc on désigne par h_1 sa pression à ce moment, elle doit satisfaire, d'après la loi de Mariotte, à la relation

$$\frac{h_1}{H} = \frac{V}{V+v}, \quad \text{d'où} \quad h_1 = H \frac{V}{V+v}.$$

C'est-à-dire que, pour obtenir la force élastique après le premier coup de piston, il suffit de multiplier la force élastique que possédait l'air, avant ce coup de piston, par la fraction $\frac{V}{V+v}$. De même, pour obtenir la pression h_2 après le deuxième coup de piston, il suffit de multiplier cette valeur de h_1 par $\frac{V}{V+v}$, ce qui donne $H \left(\frac{V}{V+v}\right)^2$, et ainsi de suite. Donc, en général, en désignant par h_n la force élastique de l'air après n coups de piston, on a

$$(1) \quad h_n = H \left(\frac{V}{V+v}\right)^n.$$

La fraction $\frac{V}{V+v}$ étant plus petite que l'unité, les valeurs de h_n vont en décroissant à mesure que n augmente, et en faisant n suffisamment grand, on peut donner à h_n une valeur aussi petite que l'on voudra. — Donc, avec une machine parfaite, il y aurait toujours avantage à donner un plus grand nombre de coups de piston, et la force élastique, sans devenir jamais *nulle*, pourrait devenir *aussi petite qu'on voudrait*.

169. **Influence de l'espace nuisible.** — Quelque soin que l'on ait apporté dans l'ajustement des pistons et des cônes qui bouchent les

conduits de la machine, il reste inévitablement, sous les pistons, quand ils sont appliqués sur le fond de leur corps de pompe, de petites cavités qu'on désigne sous le nom d'*espace nuisible*.

Or, admettons, pour un instant, qu'il soit possible de réduire la force élastique à une valeur telle, que le gaz répandu dans le corps de pompe, au moment où l'un des pistons est en haut de sa course, puisse être ensuite réduit au volume de l'espace nuisible sans acquérir une force élastique supérieure à la pression atmosphérique : il est clair que, s'il en était ainsi, la descente du piston ne déterminerait plus l'ouverture de la soupape intérieure *g*, et l'air cesserait de s'échapper dans l'atmosphère. Donc, pour toute machine présentant un espace nuisible, il y a une *force élastique minimum*, au-dessous de laquelle il serait impossible de descendre. — Pour en déterminer la valeur, désignons par *u* le volume de l'espace nuisible ; l'air qui occuperait le volume *v* du corps de pompe sous la force élastique minimum *f* atteindrait une force élastique égale à la pression atmosphérique *H* lorsqu'il serait réduit au volume *u* ; on aurait donc, d'après la loi de Mariotte,

$$\frac{f}{H} = \frac{u}{v}, \quad \text{d'où} \quad f = H \frac{u}{v},$$

expression qui est d'autant plus petite que le rapport du volume de l'espace nuisible au volume du corps de pompe est moindre.

La théorie montre que cette limite ne peut même jamais être atteinte. Lorsqu'on tient compte de cette imperfection de la machine, la loi de décroissement de la force élastique après les coups de piston successifs est représentée par une expression plus compliquée que l'expression (1), et la discussion montre que la pression ne prend la valeur *f* que pour un nombre infini de coups de piston. — Cependant si la machine ne présentait aucun autre défaut, cette même expression montre que, sans atteindre jamais la limite, on en approcherait de plus en plus, à mesure que le nombre des coups de piston deviendrait plus grand (*).

(*) *Perfectionnement de Babinet.* — Pour reculer encore davantage la limite de raréfaction, on adapte à un grand nombre de machines une pièce particulière, dont l'idée est due à Babinet ; c'est un robinet placé au point où les conduits des deux corps de pompe se réunissent, et dont on a indiqué (fig. 144 et 145) la section perpendiculaire à l'axe : la figure montre les diverses voies qui y sont pratiquées, soit dans le plan même de la figure, soit en arrière de ce plan, et en outre, l'ouverture d'une voie longitudinale, partant du point *D* et se continuant en arrière avec le conduit de la platine. Quand ce robinet est dans la position indiquée par la figure 144, tout se passe comme s'il n'existait pas. — Lorsqu'on est arrivé assez près de la limite de raréfaction pour que les soupapes des pistons n'expulsent que des quantités d'air inappréciables, on tourne ce robinet d'un quart de circonférence, de manière à l'amener dans la position de la figure 145 : la base du corps de pompe *C* se trouve mise en communication permanente avec le conduit qui aboutit au corps de pompe *C'*, par le petit canal accessoire *rst*, qui est alors ouvert ; on voit en outre que, des deux corps de pompe, *C* communique seul avec le récipient. Dès lors, quand on élève le piston de *C*, l'air du récipient passe dans ce corps de pompe, et quand on l'abaisse, une fraction de cet air

170. **Influence des rentrées d'air.** — Dans le plus grand nombre des machines, l'imperfection la plus grave consiste dans l'existence de petits interstices livrant passage, à l'air, particulièrement autour des soupapes intérieures des pistons. L'air extérieur pénètre par ces interstices, avec une vitesse d'autant plus grande que la pression intérieure est plus faible : on conçoit donc qu'il arrive un moment où la quantité d'air qui rentre dans la machine devient égale à la quantité qu'on en expulse, quelle que soit la rapidité avec laquelle on fasse se succéder les coups de piston. Il n'y a plus alors *aucun avantage à continuer de faire fonctionner la machine*. — En outre, si l'on veut arrêter l'opération et conserver le vide dans le récipient, il est nécessaire de fermer la communication entre le récipient et les corps de pompe. C'est ce que permet de faire la *clef*, comme nous le verrons plus loin (173).

171. **Avantages de l'emploi de deux corps de pompe.** — Dans une machine à un seul corps de pompe, on aurait à vaincre, chaque fois qu'on soulèverait le piston, une résistance égale à la différence des pressions exercées, d'une part sur la face supérieure du piston par l'atmosphère, d'autre part sur la face inférieure par le gaz raréfié : le second terme de cette différence devenant rapidement assez faible, l'opération deviendrait bientôt très pénible. — Dans la disposition actuelle, les deux pistons *P* et *P'* supportent sur leurs faces supérieures la pression de l'atmosphère : pour les faire mouvoir en sens contraire, on n'a donc à vaincre que la différence des pressions exercées sur leurs faces inférieures, laquelle résulte à chaque instant de la différence des forces élastiques de l'air dans les deux corps de pompe (*).

Enfin, l'effort de l'opérateur, s'exerçant sur les poignées *M, M'* (fig. 142),

est chassée en *C'* ; quand on abaisse le piston de *C'*, cette fraction y reste enfermée. Il en est de même aux coups de piston suivants, en sorte que le gaz qui est ainsi refoulé en *C'* acquiert bientôt, dans l'espace nuisible, une force élastique suffisante pour soulever la soupape. La machine continue donc de fonctionner quelque temps ;

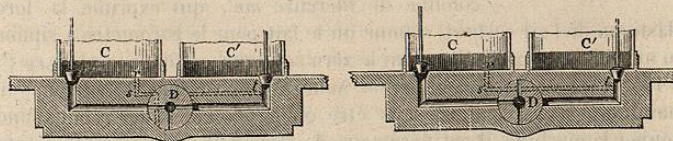


Fig. 144.

Fig. 145.

mais bientôt, le disque ne se soulevant plus qu'après un nombre de coups de piston de plus en plus considérable, on cesse encore de faire des progrès sensibles. — Avec les machines bien construites, on peut amener l'air à n'avoir plus qu'une force élastique de 1 ou 2 millimètres de mercure.

(*) Quand on a déjà donné un grand nombre de coups de piston, si l'on considère le moment où l'un des pistons arrive vers le bas de sa course, on voit que la différence de ces pressions devient encore presque égale à une atmosphère, mais le chemin qui reste à parcourir est très petit, et, par suite, le travail à développer (20) est très peu considérable.

développe sur la tige, au point où celle-ci engrène avec la roue dentée, une force qui a pour mesure cet effort lui-même multiplié par le rapport de la longueur du bras du levier au rayon de la roue.

Pour ces diverses raisons, on peut donner aux corps de pompe une section assez considérable, sans que la manœuvre de la machine soit trop pénible.

172. Manomètre de la machine. — Les machines pneumatiques portent toujours un manomètre destiné à faire connaître, à chaque instant, la pression de l'air qui reste dans le récipient. Le plus ordinairement, c'est un tube de verre à deux branches M, N (fig. 146) dont l'une M est fermée, et qu'on nomme *baromètre tronqué*. Le tube est fixé sur une plaque de métal, et contenu dans une cloche de verre ou *éprouvette*, qui est mise en communication avec le conduit par une douille métallique qui est fixée soit à sa partie inférieure (fig. 146), soit à sa partie supérieure (fig. 142).

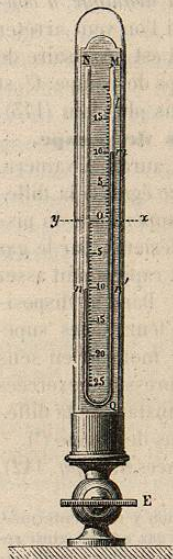


Fig. 146.

On a procédé, pour l'introduction du mercure dans le tube, comme pour la construction d'un baromètre à siphon; mais, les branches n'ayant guère que deux décimètres environ, quand la pression de l'atmosphère s'exerce dans la branche ouverte, le liquide reste appliqué contre le sommet de la branche fermée. — Quand la pression dans le récipient de la machine est devenue suffisamment petite, le mercure commence à descendre dans la branche MQ et à s'élever dans l'autre; si la pression devenait nulle, les deux niveaux se placeraient sur un même plan horizontal *xy*. Nous avons vu qu'il n'en peut jamais être ainsi: on mesure la colonne de mercure *mn'*, qui exprime la force élastique de l'air restant, comme on le fait pour le baromètre à siphon, au moyen de deux échelles dont le zéro commun est dans le plan *xy* (*).

173. Clef de la machine. — Nous avons vu que, lorsqu'on veut maintenir la raréfaction sans être obligé de continuer à faire fonctionner la machine, il est nécessaire de fermer la communication entre le récipient et les corps de pompe (170). D'autre part, la pression atmosphérique tendant à faire passer entre les pistons et les corps de pompe une certaine quantité d'huile, qui pourrait obstruer les conduits, il est utile de pouvoir alors laisser rentrer l'air dans les corps de pompe.

(*) La figure montre, sur la branche fermée, un étranglement *l* près de son extrémité: il est destiné à ralentir l'ascension du mercure, au moment où on laisse rentrer l'air dans les conduits; sans cette précaution, le sommet de la colonne de mercure viendrait frapper sur le verre un coup sec, qui pourrait en déterminer la rupture.

Enfin, quand l'expérience est terminée, il faut pouvoir rendre l'air au récipient. — Ces diverses opérations s'effectuent au moyen de la *clef*.

La clef est un robinet D, placé sur le conduit A de la figure 142; on y a pratiqué d'abord la voie ordinaire, qui établit la communication entre le récipient et les corps de pompe quand le robinet est ouvert (fig. 147). Il présente, en outre, un petit conduit longitudinal *m*,

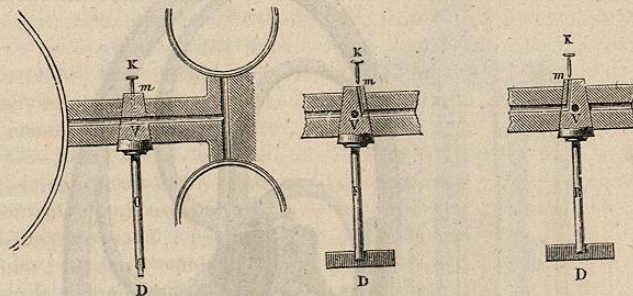


Fig. 147.

Fig. 148.

Fig. 149.

courbé à angle droit, comme le montrent les figures 148 et 149, et destiné à servir seulement quand le robinet est fermé: on peut alors, en enlevant la cheville K, laisser rentrer l'air, soit dans les corps de pompe (fig. 148), soit dans le récipient (fig. 149), selon la façon dont le robinet est tourné. — Pour amener la clef dans l'une de ces trois positions, l'expérimentateur la fait tourner de manière à lire, en dessus, l'une des trois lettres suivantes, gravées sur le métal:

- O — Conduit *ouvert*.
- F — Conduit *fermé* (on peut rendre l'air dans les corps de pompe).
- R — Rentrée de l'air dans le récipient.

Dans les machines qui sont munies du robinet de Babinet, cette pièce est, en général, disposée de manière à faire fonction de clef.

174. Machine pneumatique de Bianchi. — La machine pneumatique de Bianchi (fig. 150), bien qu'à un seul cylindre, offre les avantages des machines à deux corps de pompe. Le piston est mis en mouvement par la rotation du volant V, qui se transmet aux roues dentées *r* et R, et imprime un mouvement de va-et-vient à la tige T, par l'intermédiaire de la manivelle B; en même temps, le cylindre oscille autour de l'axe MN, et accompagne l'extrémité de la tige B, qui est maintenue entre des glissières.

Le cylindre est mis en communication avec les appareils dans lesquels on veut raréfier l'air, au moyen d'un tube de caoutchouc épais qu'on adapte sur l'extrémité N du canal pratiqué dans l'axe MN. —

L'air du récipient arrive dans le cylindre, soit par *a*, soit par *a'* (fig. 151), et chacune de ces ouvertures est alternativement bouchée par l'un ou l'autre des cônes qui terminent la tige glissante *aa'*; enfin, on voit en *b* et *b'* deux soupapes semblables aux soupapes inté-

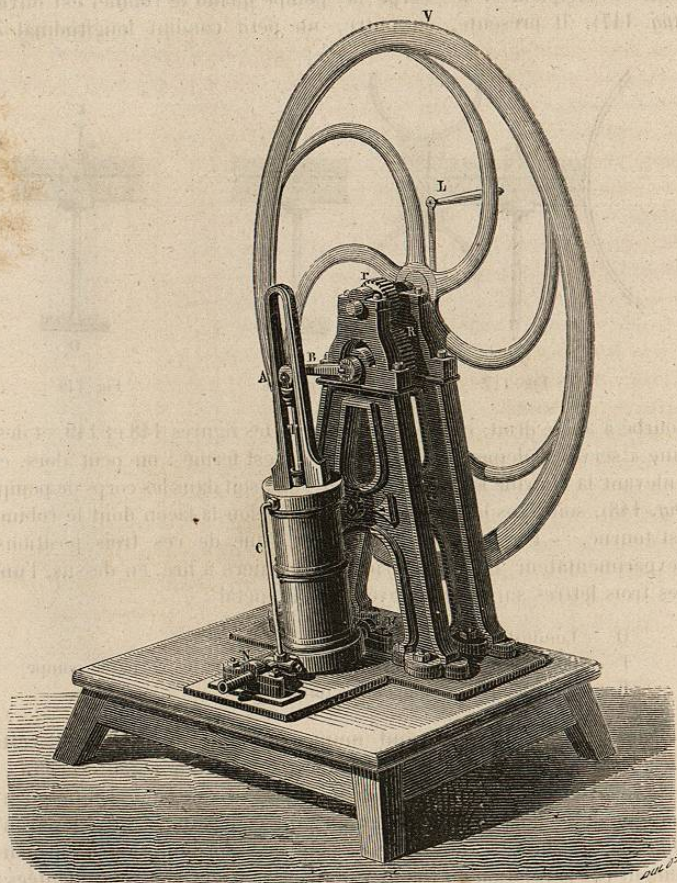


Fig. 150. — Machine pneumatique de Bianchi.

rieures des pistons de la machine ordinaire. — La figure 151 suppose que le piston descend : l'air du récipient arrive alors à la partie supérieure par le tube *C* et par l'ouverture *a'*; en même temps, l'air qui se trouve au-dessous du piston est chassé par la soupape *b* et s'échappe par la capacité intérieure de la tige *T* comme l'indique la flèche. —

Au contraire, quand le piston monte, *a'* se ferme, et l'air emprisonné au-dessus du piston est chassé par la soupape *b'*; en même temps l'air du récipient arrive à la partie inférieure par l'ouverture *a*, tandis que la soupape *b* est maintenue fermée par la pression atmosphérique.

On voit donc que les deux parties du cylindre séparées par le piston fonctionnent, simultanément et en sens inverse, comme le feraient les deux corps de pompe d'une machine pneumatique ordinaire. — Le cylindre étant en fonte, on peut lui donner des dimensions assez grandes pour faire rapidement le vide dans de vastes appareils.

175. **Machine pneumatique à mercure.** — La machine pneumatique à mercure, construite d'abord par M. Geissler, et perfectionnée en France par M. Alvergnyat, est destinée à obtenir une raréfaction beaucoup plus parfaite que ne peut le faire la machine ordinaire.

Le tube *T* (fig. 152), renflé à sa partie supérieure *A*, doit fonctionner comme une sorte de tube barométrique, dont la chambre sera représentée par la capacité *A*; il est mis en communication, par un gros tube de caoutchouc *B*, avec une cuvette *C* s'ouvrant à l'air libre. Ce tube *T* occupe une position fixe sur la planche verticale qui le supporte; la cuvette *C* peut, au contraire, être amenée à volonté, au moyen de la chaîne métallique *PQ* et des roues dentées que commande le volant *V*, soit à la partie supérieure soit à la partie inférieure de l'appareil. Le robinet *R* est un robinet à trois voies qui occupera, pendant la manœuvre, deux positions différentes, *R*₁ et *R*₂ (fig. 153) : lorsqu'il est dans la position *R*₂, il établit la communication entre la capacité *A* et le système de tubes qui est à la partie supérieure; dans la position *R*₁, il intercepte cette communication, mais il fait communiquer la capacité *A* avec le tube latéral, qui se termine par une petite cuvette pleine de mercure *G*.

Pour mettre en jeu la machine, on commence par chasser l'air que

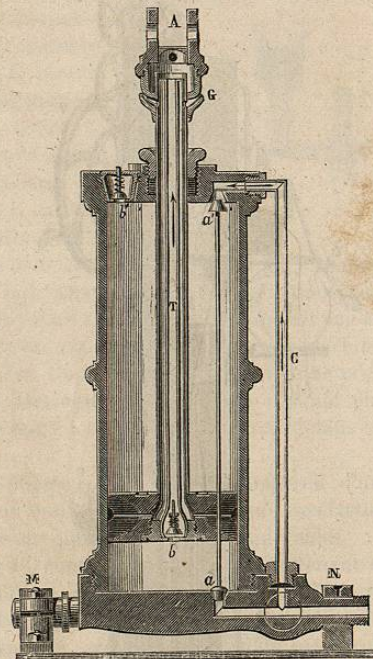


Fig. 151.

contient le tube barométrique. Pour cela, on met le robinet R dans la position R_1 , et on amène la cuvette C à la partie supérieure de sa course : le mercure s'écoulant de C vers A comprime cet air, et, quand la masse liquide est arrivée à l'équilibre, le gaz compris entre la surface du mercure et le robinet S est à une pression supérieure à la pression atmosphérique (*). On ouvre alors doucement le robinet S, de manière à livrer passage à cet air, qui s'échappe en traversant la cuvette G; le mercure du système CBA arrive ainsi à remplir complètement la capacité A jusqu'au robinet S. On ferme S, et, en faisant descendre la cuvette C jusqu'au bas de sa course, on détermine l'écoulement du mercure en sens inverse, c'est-à-dire de A vers C, ce qui produit un vide barométrique dans toute la partie supérieure de A, et la machine est prête à fonctionner.

Les appareils dans lesquels on se propose de raréfier l'air avec cette machine ont été, en général, soumis d'abord à l'action de la machine pneumatique ordinaire; on les met ensuite en communication avec le tube a (**). La manœuvre con-

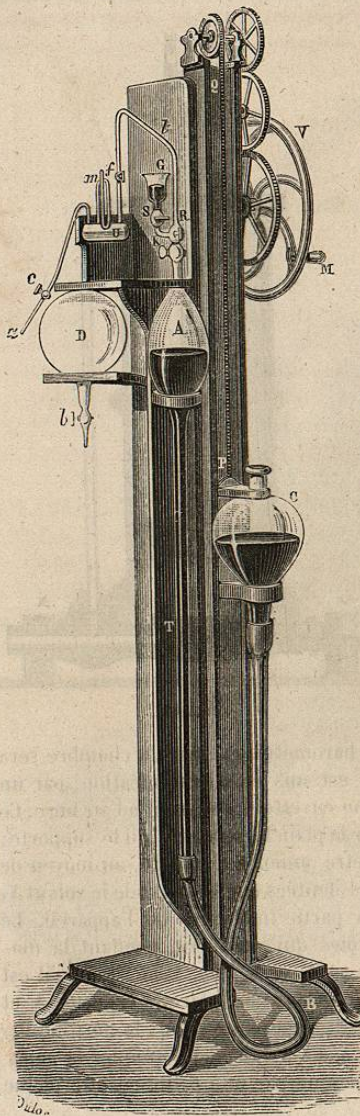


Fig. 152. — Machine pneumatique à mercure.

(*) Le robinet K, qui est représenté sur la figure 152 entre la capacité A et le robinet R, sert à fermer la capacité A lorsque, la machine ayant fonctionné pendant un certain temps, on veut enlever le robinet R pour en renouveler le graissage, sans laisser rentrer de l'air humide dans l'appareil.

(**) L'emploi préalable de la machine pneumatique ordinaire est seu-

siste alors dans la série suivante d'opérations. — On met le robinet R dans la position R_2 (fig. 153), et, en ouvrant les robinets f et c, on détermine le passage d'une partie du gaz des appareils dans la chambre barométrique : l'arrivée de ce gaz dans la chambre a pour effet de faire descendre le niveau du mercure dans le tube barométrique et d'accroître ainsi l'espace dans lequel le gaz est aspiré. Lorsque le mercure a pris un nouvel équilibre dans le système de tubes ABC, on remet le robinet R dans la position R_1 , on ramène la cuvette C à la partie supérieure de sa course, pour comprimer le gaz qui s'est rendu dans la capacité A, et enfin on fait échapper ce gaz dans l'atmosphère en ouvrant le robinet S. — En répétant cette manœuvre, on fait passer, à chaque fois, une certaine partie du gaz des appareils dans la machine, et de la machine dans l'atmosphère. On arrive ainsi à obtenir une pression tellement faible, que le baromètre tronqué m n'indique plus qu'une différence inappréciable entre les niveaux du mercure dans ses deux branches (*).

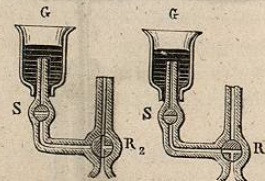


Fig. 153.

176. **Pompe à main.** — La pompe à main est un appareil d'une construction très simple, que l'on emploie pour obtenir une raréfaction assez grossière dans des espaces de dimensions peu considérables.

Elle se compose d'un corps de pompe MN (fig. 154) contenant un piston plein P, qu'on met en mouvement à l'aide d'une tige T munie d'une poignée. A la partie inférieure du corps de pompe sont deux tubes latéraux A, C, contenant chacun une soupape formée d'un petit tronc de cône métallique, qui pénètre dans une cavité pratiquée dans l'axe du tube; un petit ressort spiral sert à maintenir chacun d'eux faiblement appliqué dans cette cavité. La figure montre que ces soupapes sont placées de façon à pouvoir s'ouvrir, l'une a sous l'action d'un excès de pression à l'intérieur du corps de pompe, l'autre c sous l'action d'un excès de pression à l'extérieur.

lement destiné à rendre l'opération plus rapide, en mettant, dès le commencement, la machine à mercure en communication avec un espace où le gaz est déjà raréfié.

(*) Le réservoir U, interposé entre la machine et les appareils, contient de l'acide sulfurique concentré, pour dessécher les gaz qui pénètrent dans la machine, de manière qu'elle reste toujours parfaitement sèche. — Tous les robinets sont en verre, et travaillés d'une manière assez parfaite pour tenir indéfiniment le vide, à la condition qu'on ait le soin de les maintenir enduits d'une légère couche de matière grasse. — Le ballon D, qui est figuré à gauche de l'appareil et dont il n'a pas été question dans la description, ne sert que dans des circonstances spéciales, celles où l'on veut faire le vide dans des appareils contenant un gaz qui attaquerait le mercure de la machine : ce ballon est alors utilisé comme une sorte de récipient intermédiaire, contenant de l'air raréfié jusqu'à la limite d'action de la machine, et dans lequel on aspire les gaz des appareils soumis à l'expérience.

Si le tube C est mis en communication avec un récipient quelconque, les mouvements alternatifs imprimés au piston produisent dans ce récipient une raréfaction successive, l'air s'échappant par A, et la pompe fonctionne comme une machine pneumatique. Mais l'appareil n'ayant qu'un seul corps de pompe, et l'effort nécessaire pour soulever le piston s'exerçant directement sur la tige, la manœuvre n'est possible, avec la force d'un homme, qu'à la condition de donner au piston une section beaucoup plus petite que dans la machine pneumatique ordinaire (171). — L'espace nuisible a d'ailleurs, par la construction même, une valeur assez grande, en sorte que la pompe à main ne peut être employée que pour obtenir un degré de raréfaction peu éloigné (*).

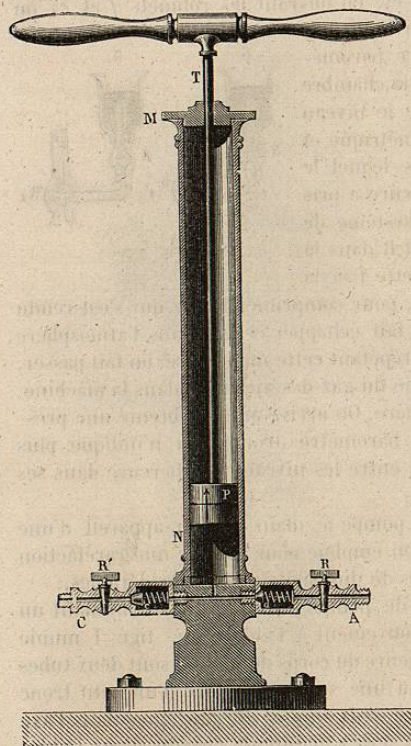


Fig. 154. — Pompe à main.

comprimer dans un récipient soit de l'air, soit un gaz quelconque. Il suffit de mettre le tube A en communication avec ce récipient et de faire

(*) Le robinet R' peut servir, quand on arrête l'opération, soit à intercepter la communication entre la pompe et le récipient où l'on a fait le vide, soit à laisser rentrer l'air. Pour cela, on a fixé perpendiculairement au tube C un tube horizontal D, comme le montre la projection horizontale de cette partie de l'appareil (fig. 155); le robinet est un robinet à trois voies, disposées comme les deux traits noirs tracés ci-

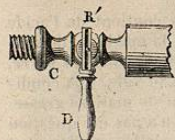


Fig. 155.

contre, sur sa clef; s'il est placé dans la position de la figure 155, la communication avec le récipient est interrompue, mais l'air peut rentrer dans la pompe; si, partant de cette position, on tourne ce robinet d'un quart de circonférence dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, l'air rentre dans le récipient et dans la pompe; enfin, si on lui fait décrire encore une demi-circonférence, la communication entre le récipient et la pompe est établie comme par un robinet ordinaire.

177. Emploi de la pompe à main comme pompe de compression. — La pompe qui vient d'être décrite peut également être employée pour

communiquer le tube C soit avec l'atmosphère, soit avec un réservoir à gaz. — Quand on soulève le piston, la soupape c s'ouvre, et laisse arriver l'air ou le gaz dans le corps de pompe; quand on fait descendre le piston, la soupape a s'ouvre dès que la force élastique intérieure surpasse celle qui s'exerce du côté A, et le gaz est refoulé dans le récipient.

En combinant plusieurs pompes semblables, et les faisant manœuvrer à l'aide d'une petite machine à vapeur, Regnault a pu comprimer certains gaz jusqu'à 50 atmosphères.

178. Loi d'accroissement de la force élastique, dans la manœuvre de la pompe de compression. — Proposons-nous de déterminer la loi suivant laquelle augmente la force élastique du gaz, dans le récipient où il est refoulé par une pompe de compression. — Nous supposons d'abord la pompe parfaite, comme nous l'avons fait pour la machine pneumatique (168).

Soit H la force élastique, supposée invariable, dans l'espace où la pompe puise le gaz; H₀ la force élastique initiale dans le récipient où elle le comprime; V le volume de récipient, et v celui du corps de pompe. — Chaque fois que le piston s'élève, le volume v s'emplit de gaz à la pression H; quand il s'abaisse, ce gaz est refoulé dans le récipient et prend alors, sous le volume V, une force élastique H $\frac{v}{V}$, qui s'ajoute à la précédente (150). Donc, si l'on désigne par H₁, H₂, ..., H_n, les forces élastiques dans le récipient après 1, 2, ..., n coups de pistons, on aura :

$$\begin{aligned} H_1 &= H_0 + H \frac{v}{V}, \\ H_2 &= H_0 + 2H \frac{v}{V}, \\ &\dots \dots \dots \\ (1) \quad H_n &= H_0 + nH \frac{v}{V}. \end{aligned}$$

Si l'on considère, en particulier, le cas plus simple où la pompe puise de l'air dans l'atmosphère, et le refoule dans un appareil contenant d'abord de l'air à la pression atmosphérique, on a H₀ = H; la force élastique, après n coups de piston, devient alors

$$(2) \quad H_n = H \left(1 + \frac{nv}{V} \right).$$

L'une ou l'autre des formules (1) et (2) montre que la force élastique augmente toujours d'une quantité proportionnelle au nombre n; donc, théoriquement, et avec une pompe parfaite, la force élastique H_n pourrait

devenir aussi grande qu'on voudrait, en donnant un nombre suffisamment grand de coups de piston.

Si maintenant on tient compte du volume u de l'espace nuisible, on trouve, en raisonnant comme précédemment (169), que la force élastique ne peut dépasser une limite f , qui est ici

$$f = H \frac{v}{u}.$$

Enfin, dans la plupart des cas, les fuites qui se produisent dans l'appareil, et qui arrivent à laisser échapper une quantité de gaz égale à celle que la pompe refoule, font que la pression cesse de s'accroître avant d'atteindre des valeurs voisines de cette limite. Il faut alors cesser de faire fonctionner la pompe, et fermer le récipient.

179. Expériences fondées sur la raréfaction ou la compression des gaz. — La machine pneumatique est

d'un usage continu dans les laboratoires : nous avons indiqué déjà, à diverses occasions, quelques-unes des expériences qu'elle permet de réaliser. — Citons encore l'expérience suivante :

On emplit d'eau à moitié un petit flacon, et on introduit dans le col un bouchon, traversé par un tube de verre qui est effilé à sa partie supérieure et qui plonge dans l'eau par son autre extrémité. On place le flacon sur la platine, on le couvre d'une cloche (fig. 156), et on raréfie l'air dans la cloche. La force élastique de l'air qui est enfermé dans le flacon fait monter l'eau dans le tube, et on voit le liquide jaillir par l'extrémité effilée : c'est l'expérience connue sous le nom de *jet d'eau dans le vide*.

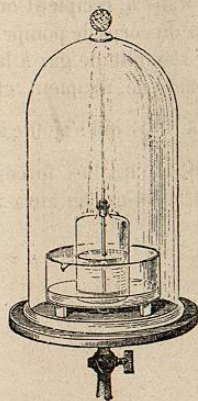


Fig. 156.

Jet d'eau dans le vide.

Voici une expérience analogue, que l'on réalise en employant la pompe à main comme *pompe de compression*. — On prend un réservoir métallique, à parois très résistantes (fig. 157), dans l'axe duquel est assujéti un tube pénétrant presque jusqu'au fond, et muni d'un robinet à son extrémité supérieure. On introduit d'abord de l'eau dans l'appareil (à peu près jusqu'au trait ponctué); puis, au moyen d'une pompe à main, on refoule de l'air par le tube central : le gaz comprimé vient s'accumuler dans l'espace qui surmonte la surface du liquide. On ferme le robinet, on enlève la pompe, et on adapte sur le tube un ajutage étroit. Si l'on ouvre alors le robinet, on voit l'eau jaillir à une grande hauteur, en raison de l'excès de la pression intérieure sur la pression atmosphérique. — Cet appareil est connu sous le nom de *fontaine de compression*.

180. Applications industrielles. — La raréfaction ou la compression des gaz donne lieu, dans l'industrie, à de nombreuses applications.

Pour faire bouillir à de basses températures les sirops dont on extrait le sucre, et empêcher ainsi l'altération de ces liquides par la chaleur, on fait continuellement le vide dans les chaudières, au moyen de machines pneumatiques plus ou moins modifiées : l'ébullition se produit alors, comme nous le verrons plus loin, à une température beaucoup plus basse que sous la pression atmosphérique.

On a longtemps employé, pour faire gravir aux trains la pente qui termine le chemin de fer de Paris à Saint-Germain, un système consistant en un gros tube de fonte, placé sur la voie, entre les deux rails, et contenant un piston auquel le train était attaché. Une machine pneumatique puissante, placée à l'extrémité de la ligne, faisait le vide dans ce tube : la pression atmosphérique, s'exerçant sur le piston de l'autre côté, l'entraînait progressivement, avec le train, jusqu'au sommet de la côte (*).

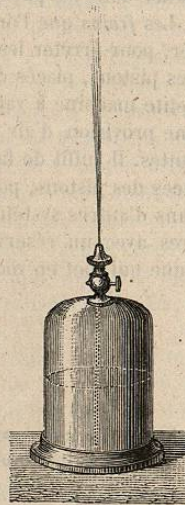


Fig. 157. — Fontaine de compression.

Le *télégraphe pneumatique*, qui sert à l'envoi de dépêches manuscrites dans les divers quartiers d'une ville, se compose d'une série de tubes souterrains et se rendant d'une station à une autre : une sorte de piston creux, contenant les dépêches dans son intérieur, est introduit dans le tube, à la station de départ; on le fait parvenir à la station suivante, en injectant dans le tube de l'air comprimé.

Les *cloches à plongeur*, dans lesquelles se placent les ouvriers pour les travaux à effectuer sous l'eau, sont de grands cylindres métalliques, ouverts par leur partie inférieure, et dans lesquels des pompes de compression, placées sur le rivage, refoulent continuellement de l'air; de cette façon, l'eau ne peut pas pénétrer dans la cloche, et l'air se renouvelle sans cesse, en s'échappant par le pourtour de la cloche.

Les *machines perforatrices*, comme celles qui ont servi à pratiquer les trous de mine pour le percement des tunnels du mont Cenis ou du Saint-Gothard, comprennent, comme partie essentielle, des espèces de *fleurêts*, supportés par des pistons et destinés à creuser progressivement la roche, par des chocs répétés. Le mouvement est produit par une injection brusque d'air comprimé, à une pression considérable;

(*) Ce système, appliqué aussi en Irlande et en divers points de l'Angleterre, a été abandonné depuis l'invention des *locomotives de montagnes*, qui permettent également de gravir les pentes, et dont l'emploi est beaucoup moins coûteux.