

CHAPITRE VI

POMPES A GAZ ET A LIQUIDES. — SIPHON

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

163. 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. 128), 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 de le mettre en communication avec 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 d'eux. Le piston est formé de rondelles de cuir serrées entre deux plaques métalliques *dd'*, *ee'* (fig. 129), de façon que le cuir s'applique exactement sur la paroi 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 et dans l'autre, à l'aide de la manivelle MM

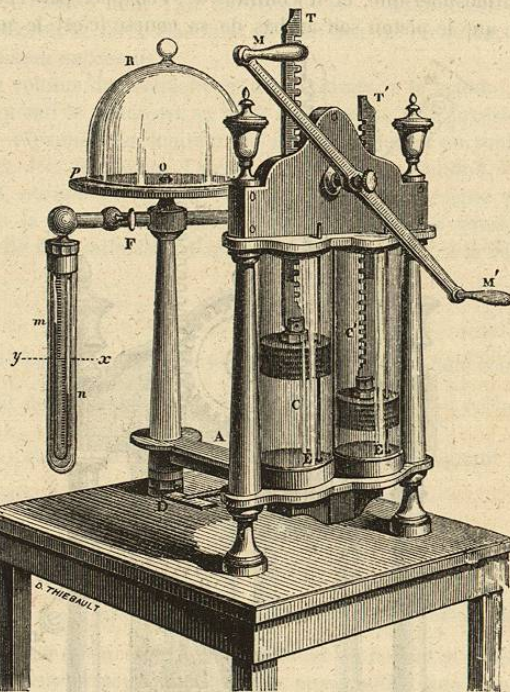


Fig. 128. — Machine pneumatique.

(fig. 128) : dans chacun de ces mouvements, l'un des pistons s'abaissera pendant que l'autre sera soulevé, et réciproquement.

164. 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 129 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 se répand dans le corps de pompe, en sorte que sa force élastique va en décroissant. Pendant l'ascension du piston, le disque *g* reste appliqué sur l'ouverture *a*, par la pression atmosphérique, qui s'exerce sur sa face supérieure. — Supposons maintenant que le piston, arrivé au haut de sa course, soit abaissé : la tige *hh*, étant

immédiatement entraînée, le cône inférieur vient fermer l'ouverture b : l'air enfermé dans le corps de pompe, et comprimé par le piston, soulève le disque g , dès que sa force élastique est devenue supérieure à la pression atmosphérique, et il continue à s'échapper par l'ouverture a jusqu'à ce que le piston soit au bas de sa course (c'est le mouvement

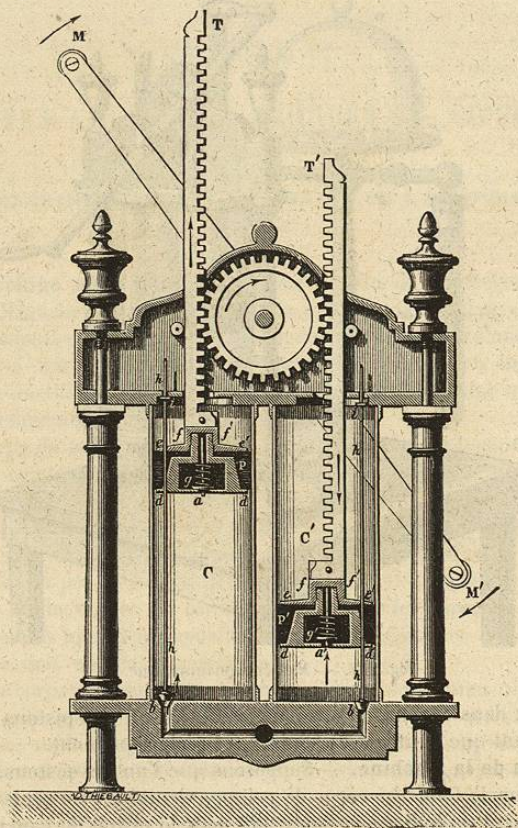


Fig. 129. — Coupe verticale des corps de pompe et des pistons.

que suppose la figure pour le piston de droite P'). — Les mêmes phénomènes se reproduisent chaque fois qu'on fait monter et descendre l'un des pistons, c'est-à-dire à chaque *coup de piston*.

165 Loi de décroissance 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, exprimée en hauteur de mercure. 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 la hauteur de la colonne mercurielle qui mesurerait sa pression à ce moment, elle doit satisfaire, d'après la loi de Mariotte, à la relation

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

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 obtiendra pour h_n une valeur aussi petite que l'on voudra. — Donc, avec une machine parfaite, la force élastique, sans devenir jamais *nulle*, pourrait devenir *aussi petite qu'on voudrait*.

166. Influence de l'espace nuisible. — Quelque soin que l'on ait apporté dans l'ajustement des pièces de la machine, il reste inévitablement, sous les pistons, quand ils sont appliqués sur le fond de leur corps de pompe, de petits intervalles qu'on désigne sous le nom d'*espace nuisible*. — Nous allons montrer que l'espace nuisible a pour effet de limiter la raréfaction.

Soit h la force élastique dans le récipient et dans le corps de pompe, le piston étant au haut de sa course, à une période déterminée de la manœuvre. — Au moment où l'on commence à abaisser le piston, on isole dans le corps de pompe une masse d'air qui occupe le volume v sous cette pression h ; pour que le disque g arrive à se soulever, il faut que cet air puisse être réduit, pendant la descente du piston, à un volume x qui fasse acquérir à sa force élastique une valeur $H + \varepsilon$, un

peu supérieure à la pression atmosphérique : d'après la loi de Mariotte, ce volume est donné par la relation :

$$\frac{h}{H + \varepsilon} = \frac{x}{v}, \quad \text{d'où} \quad x = v \frac{h}{H + \varepsilon}.$$

Dès lors, il ne pourra y avoir expulsion d'air, qu'autant que cette valeur de x sera supérieure au volume de l'espace nuisible, que nous désignerons par u ; ce qui donne la condition :

$$\frac{vh}{H + \varepsilon} \geq u, \quad \text{d'où} \quad h \geq \frac{u}{v}(H + \varepsilon), \quad \text{ou enfin} \quad h > \frac{u}{v}H.$$

On voit donc que la force élastique dans le récipient ne pourra jamais descendre au-dessous d'une *limite* représentée par l'expression $\frac{u}{v}H$.

Si l'on tient compte de l'espace nuisible, 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). — La discussion montre que, si la machine ne présentait aucun autre défaut, sans atteindre jamais la limite de raréfaction, on en approcherait de plus en plus, à mesure que le nombre des coups de piston deviendrait plus grand.

167. Influence des rentrées d'air. — Pour la plupart des machines, l'imperfection la plus grave est l'existence de petits interstices livrant passage à l'air, particulièrement autour des soupapes intérieures des pistons. L'air extérieur pénétrant alors avec une vitesse d'autant plus grande que la pression intérieure devient plus faible, 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*. — Si l'on veut conserver le vide dans le récipient, il est nécessaire de fermer la communication entre le récipient et les corps de pompe; et, d'autre part, il est utile de laisser rentrer l'air sous les pistons, afin d'éviter que la pression atmosphérique ne chasse l'huile qui les lubrifie. — C'est ce que permet de faire la *clef*, comme nous le verrons plus loin (170).

168. Avantage 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, la manœuvre 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. — 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 étant très petit, le travail à développer (20) est très peu considérable.

169. Manomètre de la machine. — La machine pneumatique porte un petit manomètre (*fig. 128*) destiné à indiquer, à chaque instant, la pression de l'air qui reste dans le récipient : c'est un tube de verre à deux branches, dont l'une m est fermée, et qui est contenu dans une cloche de verre ou *éprouvette*, mise en communication avec le conduit. — Le tube a été rempli de mercure comme un baromètre à siphon; mais, les branches n'ayant guère que 2 décimètres environ, la pression de l'atmosphère maintient le liquide appliqué contre le sommet de la branche fermée. Quand la pression dans le récipient est devenue suffisamment petite, le mercure commence à descendre dans la branche fermée et à s'élever dans la branche ouverte; la hauteur de mercure

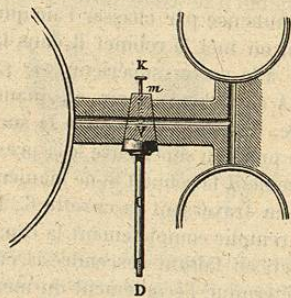


Fig. 150.



Fig. 151.

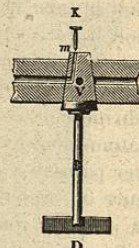


Fig. 152.

comprise entre les deux niveaux, mesure, à chaque instant, la force élastique dans le récipient.

170. Clef de la machine. — La clef est un robinet D, placé sur le conduit A de la figure 128; 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. 150*). Elle présente, en outre, un petit conduit longitudinal m , courbé à angle droit, comme le montrent les figures 151 et 152, et destiné à servir seulement quand le robinet est fermé : on peut alors, en enlevant la cheville K, soit laisser rentrer l'air dans les corps de pompe (*fig. 151*), quand on veut maintenir le vide dans le récipient, soit laisser rentrer l'air dans le récipient

(fig. 152), quand l'expérience est terminée. — Des lettres gravées extérieurement sur la clef indiquent à l'opérateur ces trois positions.

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

Le tube T (fig. 155), 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 est fixé sur la planche verticale qui le supporte; la cuvette C peut, au contraire, être amenée soit à la partie supérieure, soit à la partie inférieure de l'appareil, au moyen de la chaîne métallique PQ et des roues dentées que commande le volant V. Le robinet à trois voies R occupera, pendant la manœuvre, deux positions différentes, R₁ et R₂ (fig. 154) : dans la position R₂, il établit la communication entre la capacité A et le système de tubes qui est à la partie supérieure; dans la position R₁, il intercepte cette communication, mais il fait communiquer la capacité A avec le tube latéral, qui se termine par une petite cuvette à mercure G.

Pour mettre en jeu la machine, on commence par chasser l'air que contient le tube barométrique. Pour cela, on met le robinet R dans la position R₁, et l'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 sont mis en communication avec le tube a. La manœuvre consiste dans la série suivante d'opérations. — On met le robinet R dans la position R₂ (fig. 154), 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

(*) Le robinet K, qui est représenté sur la figure 155, sert uniquement à fermer la capacité A lorsque, la machine ayant fonctionné pendant longtemps, on veut enlever le robinet R pour en renouveler le graissage, sans laisser rentrer de l'air humide dans l'appareil.

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 R₁, 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 manomètre m n'indique

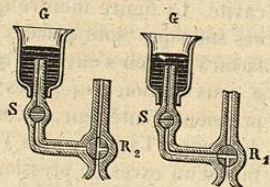


Fig. 154.

plus qu'une différence inappréciable entre les niveaux du mercure dans ses deux branches (*).

(*) 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 soin de les maintenir enduits d'une légère couche de matière grasse. — Le ballon D, qui est figuré à gauche de l'appareil, 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

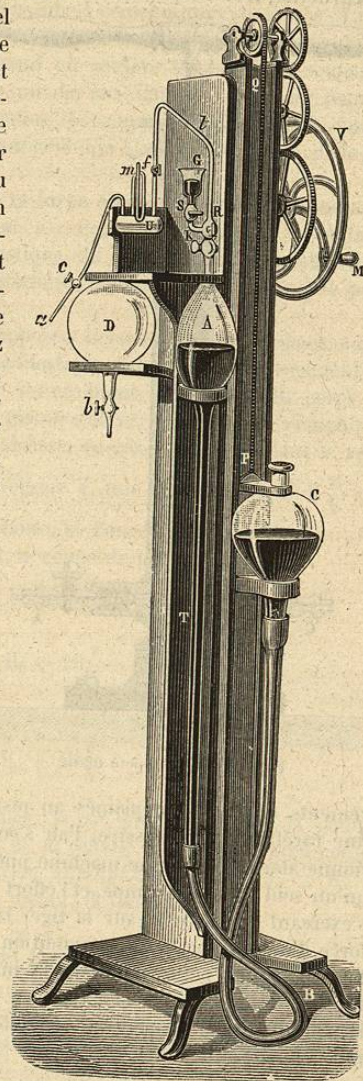


Fig. 155. — Machine pneumatique à mercure.

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

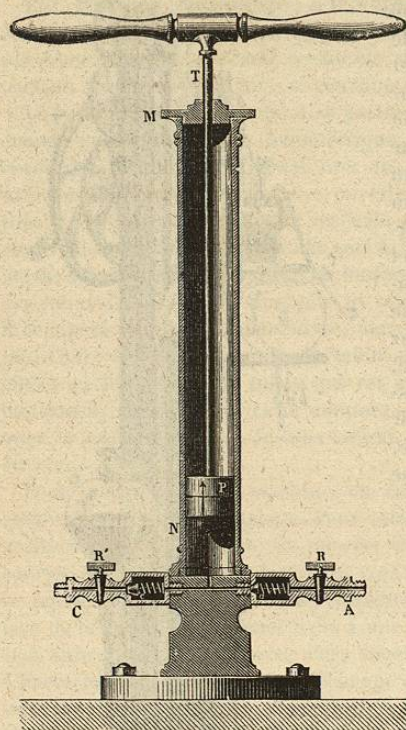


Fig. 155. — Pompe à main.

Elle se compose d'un corps de pompe MN (fig. 155) 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.

Si le tube C est mis en communication avec un récipient, il est aisé de voir que les mou-

vements alternatifs imprimés au piston produiront dans le récipient une raréfaction progressive, l'air s'échappant par A : la pompe fonctionne alors 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. — L'espace nuisible ayant, par la construction même, une valeur assez grande, la pompe à main ne peut être employée que pour obtenir un degré de raréfaction peu éloigné.

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.

173. Emploi de la pompe à main comme pompe de compression.

— Pour employer la pompe à comprimer dans un récipient soit de l'air, soit un gaz quelconque, on met le tube A en communication avec ce récipient et l'on fait 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.

174. Loi d'accroissement de la force élastique, dans la manœuvre de la pompe de compression. — Pour déterminer la loi suivant laquelle augmente la force élastique du gaz dans le récipient, nous supposons d'abord la pompe parfaite, comme nous l'avons fait pour la machine pneumatique (165).

Soit *H* la force élastique, supposée invariable, dans l'espace où la pompe puise le gaz; *H*₀ la force élastique initiale dans le récipient où elle le comprime; *V* le volume du 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 (147). Donc, si l'on désigne par *H*₁, *H*₂, ..., *H*_{*n*}, les forces élastiques après 1, 2, ..., *n* coups de pistons, on aura :

$$H_1 = H_0 + H \frac{v}{V},$$

$$H_2 = H_0 + 2H \frac{v}{V},$$

$$\dots \dots \dots$$

$$(1) \quad H_n = H_0 + nH \frac{v}{V}.$$

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 *H*₀ = *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 (166), que la force élastique ne peut dépasser une limite déterminée, qui est ici $\Pi \frac{p}{u}$.

Enfin, dans la plupart des cas, les fuites qui se produisent dans l'appareil à mesure que l'opération se poursuit, 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.

175. 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 :

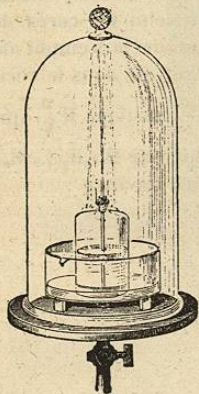


Fig. 156.
Jet d'eau dans le vide.

On emplit d'eau à moitié un petit flacon, et l'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 l'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 l'on voit le liquide jaillir par l'extrémité effilée :

c'est l'expérience connue sous le nom de *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 (fig. 155), 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 l'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

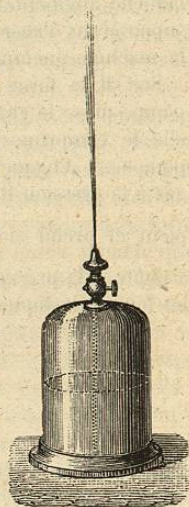


Fig. 157. — Fontaine
de compression.

la pression intérieure sur la pression atmosphérique. — Cet appareil est connu sous le nom de *fontaine de compression*.

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

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, 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 du 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 *freins* que l'on emploie sur la plupart des lignes de chemins de fer, pour arrêter les trains, sont commandés par des pistons, placés dans des cylindres installés sous chaque wagon. Une petite machine à vapeur, installée sur la locomotive, sert à entretenir une provision d'air comprimé, dans un réservoir à parois très résistantes. Il suffit de faire arriver cet air dans les cylindres, sur l'une des faces des pistons, pour que tous les freins entrent en jeu à la fois. — Dans d'autres systèmes (*freins à vide*), on fait communiquer les cylindres avec un réservoir vide d'air : c'est alors la pression atmosphérique qui met en mouvement les pistons des freins.

II. — POMPES A LIQUIDES

177. Diverses espèces de pompes à liquides. — Longtemps avant d'être appliquées à la raréfaction ou à la compression des gaz, les pompes avaient été employées à élever l'eau.

Les pompes à eau peuvent, aujourd'hui encore, être rapportées à trois types principaux : la *pompe aspirante*, la *pompe foulante*, et la *pompe aspirante et foulante*.

178. Pompe aspirante. — La pompe aspirante (fig. 158) se compose d'un *corps de pompe* CC', dans lequel se meut un piston P, et qui présente, à sa partie inférieure, un *tuyau d'aspiration* T plongeant dans le puisard mn dont on veut élever l'eau ; à sa partie supérieure, se trouve un tuyau de déversement D. A la jonction du corps de pompe et du tuyau d'aspiration, est une soupape ou *clapet* S, qui consiste en une plaque métallique, garnie de cuir en dessous et mobile autour d'une charnière. Le piston est traversé, parallèlement à son axe, par deux ouvertures munies de clapet s, s' (fig. 159) ; il est garni d'étoupes sur

son contour. La tige du piston s'articule avec un levier, au moyen duquel on lui imprime les mouvements d'ascension et de descente.

Supposons que, la pompe n'ayant pas encore fonctionné, on soulève pour la première fois le piston. Ce mouvement tendant à produire une raréfaction de l'air au-dessous du piston, la soupape *S* se soulève : elle laisse passer une partie de l'air qui était dans le tuyau d'aspiration, et qui acquiert ainsi une pression moindre que la pression atmosphérique; par suite, l'eau du puisard s'élève dans le tuyau *T*, jusqu'à ce que la pression de la colonne d'eau, augmentée de la force élastique de l'air intérieur, produise une pression totale égale à la pression atmosphérique qui s'exerce extérieurement sur *mn*. — Supposons que l'eau n'atteigne pas encore le point *S*, au moment où le piston arrive au haut de sa course : l'équilibre de force élastique étant établi au-dessus et au-dessous du clapet *S*, ce clapet retombe par son propre poids. Quand le piston redescend, il comprime l'air contenu dans le corps de pompe; il lui fait bientôt acquérir une force élastique suffisante pour que les soupapes *s* et *s'* se soulèvent, et laissent échapper cet air au dehors. — Quand le piston est soulevé

Fig. 138.
Pompe aspirante.

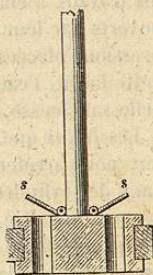
de nouveau, l'eau s'élève un peu plus encore dans le tuyau d'aspiration, et ainsi de suite, jusqu'au moment où l'eau franchit la soupape *S* : la pompe est alors *amorcée*. Ce résultat pourra toujours être obtenu, à la condition que le tuyau d'aspiration n'ait pas une hauteur supérieure à 10 mètres environ, au-dessus du niveau *mn* (*).

La pompe une fois amorcée, on continue à faire fonctionner le piston. Chaque fois qu'il descend, l'eau enfermée dans le corps de pompe franchit les soupapes *s s'*. Chaque fois qu'il remonte, il soulève l'eau que supporte sa face supérieure, et la fait écouler par le tuyau de déversement *D*; en même temps, il fait pénétrer une nouvelle quantité d'eau du puisard dans le tuyau d'aspiration et dans le corps de pompe.

179. Effort à développer pour mettre la pompe en mouvement.

— Quand le piston descend, les clapets *s* et *s'* étant ouverts, il y a communication entre le liquide qui est au-dessus de lui et celui qui est au-dessous, dans le corps de pompe; les pressions que supportent ses deux faces sont donc sensiblement égales. L'effort qu'il faut exer-

(*) Dans la pratique, l'eau ne peut même pas atteindre cette hauteur, à cause des rentrées d'air qui se produisent entre le piston et le corps de pompe, et aussi à cause de l'espace nuisible. C'est pourquoi on ne donne guère aux tuyaux d'aspiration plus de 7 à 8 mètres de haut.



cer, pour faire *descendre* le piston, est donc seulement employé à vaincre les frottements.

Voyons maintenant quel est l'effort à développer pour faire *monter* le piston. — Représentons par *H* la pression atmosphérique, évaluée en colonne d'eau; soit, à un moment quelconque, *h* la hauteur du piston au-dessus du niveau de l'eau *mn*, et *h'* la hauteur de l'eau au-dessus du piston, jusqu'au tuyau de déversement *D*. — La pression que le piston supporte de haut en bas, sur sa face supérieure, est égale au poids d'une colonne d'eau dont la hauteur serait $H + h'$; la pression qu'il supporte de bas en haut, sur sa face inférieure, est égale au poids d'une colonne d'eau dont la hauteur serait $H - h$. La résultante de ces deux pressions, dirigée de haut en bas, est donc le poids d'une colonne d'eau ayant pour base le piston et pour hauteur $h + h'$, c'est-à-dire la distance verticale du tuyau de déversement au niveau de l'eau dans le puisard. — On voit donc que l'effort à développer pour soulever le piston est, en général, une force assez considérable : il est donc avantageux de l'exercer par l'intermédiaire d'un levier (*).

180. Travail, par coup de piston. — Soit *s* la surface du piston, exprimée en centimètres carrés, et *h* la distance du tuyau de déversement au niveau du puisard, exprimée en centimètres. Pour soulever le piston d'un mouvement uniforme, la force nécessaire est égale (179) au poids d'une colonne d'eau dont le volume en centimètres cubes serait sh ; c'est donc une force de shg dynes. Si maintenant on désigne par *l* la longueur du corps de pompe en centimètres, le travail, en ergs, pour chaque coup de piston, est égal à $shg \times l$.

Si l'on remarque que slg est le poids de l'eau élevée par coup de piston, et que *h* est la hauteur à laquelle cette masse a été élevée, on voit que le produit $slg \times h$ est l'accroissement de son énergie potentielle (52). — Le travail $shg \times l$ dépensé par coup de piston est donc égal à l'accroissement d'énergie potentielle $slg \times h$ de la masse d'eau soulevée.

181. Pompe foulante. — La pompe foulante (fig. 140) se compose d'un corps de pompe *CC'* entièrement immergé dans l'eau du puisard *mn*, d'un piston *P*, et d'un *tuyau de refoulement* *R* qui prend naissance à la partie inférieure du corps de pompe. A la base du corps de pompe, est une ouverture, avec un clapet *S* qui s'ouvre de dehors en dedans; à la jonction du corps de pompe et du tuyau de refoulement, est une seconde soupape *s* qui s'ouvre de dedans en dehors.



Fig. 140.
Pompe foulante.

(*) Dans la pompe aspirante, le levier est du *premier genre*, c'est-à-dire que le point fixe est placé entre le point d'application de la résistance à vaincre et le point sur lequel s'exerce l'effort du bras qui le manœuvre. Par suite, l'effort à développer,