

ralentir la vitesse de la chute. Cet appareil est formé d'une vaste toile circulaire (fig. 110) d'environ 5 mètres de diamètre, qui, par l'effet de la résistance de l'air, s'étend en forme d'un vaste parapluie, et ne tombe que lentement. Sur le contour sont fixées des cordes qui soutiennent une nacelle où se place l'aéronaute. Au centre du parachute est une ouverture par laquelle s'échappe l'air comprimé par l'effet de la descente; autrement il se produit des oscillations qui se communiquent à la nacelle et peuvent être dangereuses.

Dans la figure 109, on voit, sur le côté du ballon, un parachute plié et attaché au filet au moyen d'une corde passant sur une poulie pour venir se fixer à la nacelle. Il suffit de lâcher cette corde pour que le parachute abandonne l'aérostat.

C'est J. Garnerin qui, le premier, descendit en parachute; mais c'est Blanchard qui paraît en être l'inventeur.

172. **Calcul du poids que peut enlever un ballon.** — Pour calculer le poids que peut enlever un ballon dont les dimensions sont données, supposons le parfaitement sphérique, et rappelons que les formules qui donnent le volume et la surface de la sphère en fonction du rayon sont  $V = \frac{4\pi R^3}{3}$ , et  $S = 4\pi R^2$ ,  $\pi$  étant

le rapport de la circonférence au diamètre et égale à 3,1416. Cela posé, le rayon  $R$  étant mesuré en décimètres, soient  $p$  le poids du mètre carré du taffetas dont le ballon est formé,  $P$  le poids de la nacelle et de ses accessoires,  $a$  le poids d'un litre d'air à zéro et à la pression 0<sup>m</sup>,76, et  $a'$  le poids d'un litre d'hydrogène dans les mêmes conditions. Le poids total de l'enveloppe, en kilogrammes, est donc représenté par  $\frac{4\pi R^2 p}{100}$ ; celui de l'hydrogène par  $\frac{4\pi R^3 a'}{3}$ ; et celui de l'air dé-

placé, par  $\frac{4\pi R^3 a}{3}$ ; c'est la poussée. En représentant par  $X$  le poids que le ballon peut porter, on a donc.

$$X = \frac{4\pi R^3 a}{3} - \frac{4\pi R^3 a'}{3} - \frac{4\pi R^2 p}{100} - P,$$

ou

$$X = \frac{4\pi R^3}{3} (a - a') - \frac{4\pi R^2 p}{100} - P.$$

Toutefois, comme on l'a vu ci-dessus, afin que le ballon s'élève, on doit prendre pour  $X$  une valeur plus petite de 3 kilogrammes environ que celle obtenue par cette équation. Il y a aussi, en général, des corrections de température et de pression à faire aux poids de l'air et de l'hydrogène; et enfin, dans la pratique, on doit tenir compte de ce que le ballon n'est jamais complètement gonflé au départ, ce qui revient à lui donner un volume moindre que celui calculé par la formule  $\frac{4\pi R^3}{3}$ .

## CHAPITRE IV.

## APPAREILS FONDÉS SUR LES PROPRIÉTÉS DE L'AIR.

173. **Machine pneumatique.** — La *machine pneumatique* est un appareil qui sert à faire le vide dans un espace déterminé, ou, plus rigoureusement, à raréfier l'air, car elle ne peut donner le vide absolu.

Cette machine a été inventée par Otto de Guéricke, bourgmestre

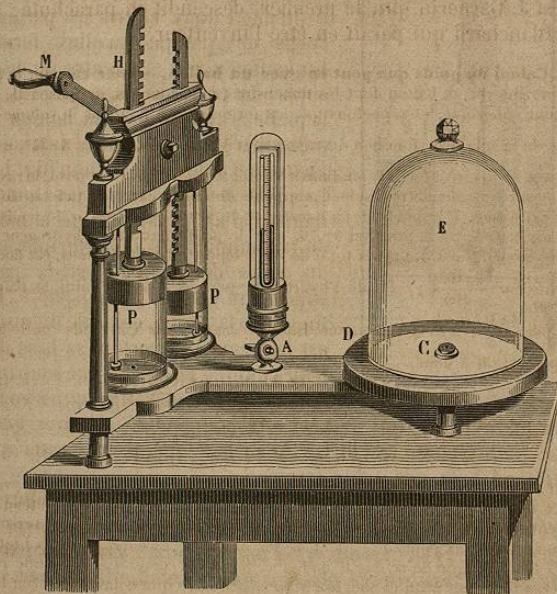


Fig. 111 (h = 70).

de Magdebourg, en 1650, peu d'années après l'invention du baromètre. Ce physicien ne donna à sa machine qu'un seul corps de pompe. C'est Hawksbee, physicien anglais, qui, le premier, adopta deux corps de pompe, et rendit ainsi la manœuvre de la machine plus prompte et moins pénible, car les pressions exercées par l'at-

mosphère sur les deux pistons se faisant équilibre, on n'a à vaincre que la différence des pressions exercées en dessous des pistons, en vertu de la force élastique de l'air qui se trouve dans les corps de pompe.

Telle qu'on la construit aujourd'hui, la machine pneumatique se compose de deux cylindres de cristal dans chacun desquels est un piston P (fig. 111). La figure 112 donne sur une plus grande échelle la coupe de l'un de ces pistons. Il est formé de deux disques de laiton X, V, vissés l'un à l'autre, et comprimant entre

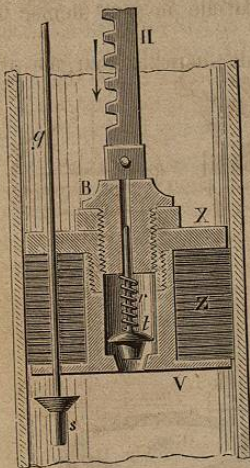


Fig. 112.

Celle-ci porte une tige qui s'engage dans la pièce B, ce qui empêche la soupape de chavirer quand elle est soulevée. Un ressort à boudin *r* appuie sur cette soupape et tend à la maintenir fermée.

Les deux corps de pompe sont mastiqués à leur base sur un support de cuivre qui se termine, à l'extrémité opposée, par un plateau D (fig. 111), recouvert d'une glace de verre épaisse et bien dressée. C'est sur ce plateau, qu'on nomme la *platine*, que se place le *réceptif* E dans lequel il s'agit de faire le vide. Au centre du plateau est une ouverture C, qui fait communiquer l'intérieur du réceptif avec les corps de pompe, au moyen d'un canal représenté en plan dans la figure 113, et se bifurquant suivant *Kcbs* et *Kcdo*.

La figure 114 représente une coupe verticale et antérieure des corps de pompe. Elle montre comment le pignon H, mû par la

eux une série de rondelles de cuir Z. Ces rondelles, d'un diamètre un peu plus grand que les deux disques, sont imbibées d'huile, et glissent à frottement doux contre les parois du corps de pompe qu'elles ferment hermétiquement. Au centre du disque supérieur est vissée une pièce B, sur laquelle s'attache par un boulon une crémaillère H, qui sert à mouvoir le piston à l'aide d'un pignon (fig. 114). La pièce B est percée dans toute sa hauteur d'un canal destiné à mettre en communication la partie inférieure du corps de pompe avec la partie supérieure et avec l'atmosphère. Enfin, dans la partie centrale du piston, est une cavité ouverte à sa base d'un trou conique fermé par une soupape *t*.

manivelle MN, transmet le mouvement aux deux crémaillères et, par suite, aux pistons P et Q. Outre les soupapes placées dans l'intérieur des pistons, deux autres soupapes *o* et *s* se trouvent à la base des corps de pompe. Elles sont coniques et fixées chacune à une tige de fer *g* (fig. 112), qui glisse à frottement doux dans la masse des pistons. Ces soupapes ouvrent et ferment alternativement la communication entre les corps de pompe et le réceptif. Si le piston P, par exemple, descend, il entraîne avec lui la tige de fer et

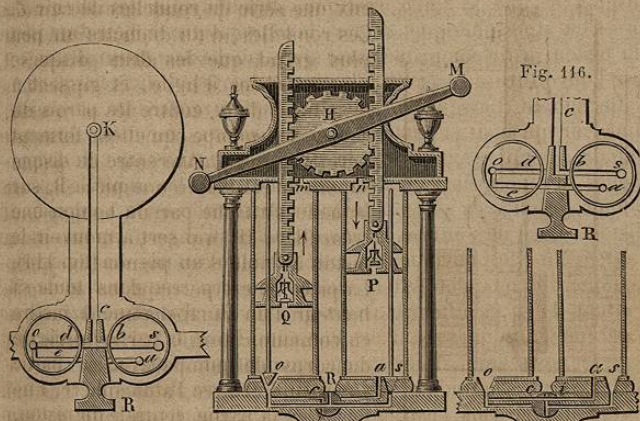


Fig. 113.

Fig. 114.

Fig. 115.

fait fermer la soupape *s*; s'il monte, la tige et la soupape sont soulevées, mais d'une très-petite hauteur, parce que cette tige a une longueur telle, qu'elle vient buter tout de suite contre le plateau supérieur du corps de pompe. Alors elle ne fait plus que glisser dans le piston, qui s'élève seul.

Pour comprendre le jeu de la machine, il suffit de considérer ce qui se passe dans l'un des corps de pompe, puisque tout est identique dans l'autre. Lorsque le piston Q, par exemple, d'abord au bas de sa course, se soulève par l'action de la manivelle, il entraîne avec lui la tige et la soupape *o*. Quant à la soupape qui est dans l'intérieur du piston, elle reste fermée pendant que celui-ci s'élève, en vertu de son propre poids et de celui de l'atmosphère; car les plateaux supérieurs des corps de pompe sont percés de petites ouvertures *m* et *n*, par lesquelles se transmet la pression extérieure. D'après cette disposition des soupapes, le vide tend à se produire

au-dessous du piston pendant qu'il monte; mais l'air du récipient, obéissant à son élasticité, passe en partie dans le corps de pompe par l'orifice *o*. Si, par exemple, le volume du corps de pompe est  $\frac{1}{20}$  de celui du récipient,  $\frac{1}{21}$  de la masse de l'air de ce dernier passe dans le corps de pompe.

Lorsque le piston descend, la tige de la soupape *o* étant entraînée de haut en bas, cette soupape se ferme, et l'air du corps de pompe ne peut pas retourner dans le récipient. Le piston continuant à descendre, l'air qui est au-dessous se comprime de plus en plus, jusqu'à ce que sa force élastique, devenue plus grande que la pression atmosphérique, soulève la soupape qui est dans l'intérieur du piston. L'air comprimé passe alors au-dessus de ce piston, et, par l'ouverture *m* réservée à la partie supérieure, il s'échappe dans l'atmosphère. Lorsque le piston est arrivé en bas de sa course, tout l'air qui avait été extrait du récipient se trouve sensiblement expulsé. A un second coup de piston, la même série de phénomènes se renouvelle, et ainsi de suite dans les deux corps de pompe, jusqu'à ce qu'on atteigne une limite où la soupape du piston refuse de s'ouvrir, même quand celui-ci est au bas de sa course. En effet, quelque bien exécutée que soit une machine pneumatique, on ne peut éviter, au-dessous des soupapes et sur le contour de la face inférieure du piston, un *espace nuisible* où se loge une petite quantité d'air. Par suite, lorsque la raréfaction est poussée assez loin, il arrive un moment où, lors même que le piston vient s'appliquer sur la base du corps de pompe, l'air qui reste enfermé dans l'espace nuisible n'acquiert pas une tension suffisante pour soulever la soupape, et à partir de cet instant, la machine ne fonctionne plus.

174. **Éprouvette de la machine pneumatique.** — Lorsqu'on a pompé un certain temps, on mesure la force élastique de l'air qui reste dans le récipient par la différence de niveau que prend le mercure dans les deux branches d'un tube de verre recourbé en siphon, l'une d'elles étant fermée et l'autre ouverte, comme dans le baromètre. Ce petit instrument, qu'on nomme *éprouvette* ou *baromètre tronqué*, parce que c'est un véritable baromètre à siphon qui a moins de 76 centimètres de hauteur, est fixé sur une échelle verticale et placé sous une cloche de cristal (fig. 111), laquelle communique avec le récipient *E* par un robinet *A* posé sur le conduit qui va de l'orifice *C* aux corps de pompe. Enfin, la branche fermée et la partie courbe du tube ont d'avance été remplies de mercure.

Avant qu'on commence à aspirer l'air qui est sous le récipient, sa force élastique fait équilibre au poids de la colonne de mercure

qui est dans la branche fermée, et celle-ci reste pleine; mais, à mesure que l'air est raréfié par le jeu des pistons, la force élastique diminue, et bientôt elle ne peut plus faire équilibre au poids de la colonne de mercure. Celle-ci baisse alors, et le mercure tend à se mettre de niveau dans les deux branches. Si l'on arrivait à faire le vide absolu, le niveau s'établirait exactement; car il n'y aurait de pression ni d'un côté ni de l'autre. Mais, avec les meilleures machines, le niveau reste toujours plus élevé d'un millimètre au moins dans la branche fermée; ce qui indique que le vide n'est pas parfait, puisqu'il reste encore une quantité d'air dont la tension fait équilibre à une colonne de mercure d'un millimètre. On dit alors qu'on a fait le vide à un millimètre.

Pratiquement, la machine pneumatique ne peut donner le vide absolu, parce que, ainsi qu'on l'a déjà vu ci-dessus, il vient un moment où l'air qui y reste est tellement raréfié, que, même lorsque les pistons sont au bas de leur course, sa force élastique ne peut vaincre la pression atmosphérique qui pèse sur les soupapes placées dans l'intérieur des pistons, et dès lors elles ne s'ouvrent plus. Théoriquement, le vide absolu est encore impossible; car le volume de chaque corps de pompe étant, par exemple,  $\frac{1}{20}$  de celui du récipient, on extrait, à chaque coup de piston, seulement  $\frac{1}{21}$  de la masse de l'air qui reste dans le récipient; par conséquent, on n'enlève jamais tout l'air qu'il contient.

\*175. **Robinet à double épaissement.** — M. Babinet a appliqué à la machine pneumatique un robinet qui permet de pousser la raréfaction de l'air à un très-haut degré. Ce robinet est placé à la bifurcation du canal qui conduit l'air du récipient aux deux corps de pompe; il est percé, dans sa masse, de plusieurs conduits qu'on utilise successivement en le tournant dans deux positions différentes. La figure 113 représente une coupe horizontale du robinet *R*, dans une position telle, que, par son ouverture centrale et par deux ouvertures latérales, il établit la communication entre l'orifice *K* de la platine et les soupapes *o* et *s*. La machine fonctionne alors comme il a été dit ci-dessus (173). Dans la figure 116, le robinet a tourné sur lui-même d'un quart de tour; le canal transversal *db*, qui était horizontal dans la figure 113, est maintenant vertical, et ses orifices se trouvent fermés par les parois qui enveloppent le robinet. Mais un second conduit, qui ne fonctionnait pas d'abord, et qui a pris la place du premier, met actuellement le corps de pompe de droite *seul* en communication avec le récipient par le canal *cbs* (fig. 116), et, de plus, il fait communiquer le corps de pompe de droite avec celui de gauche par un conduit *aeo* (fig. 116), ou *aico* (fig. 115). Ce conduit part d'une ouverture

centrale *a*, placée à la base du corps de pompe de droite, et se rend à la soupape *o* de l'autre corps de pompe, à travers le robinet, comme le représentent les figures 115 et 116; mais le même conduit se trouve interrompu par le robinet, lorsque celui-ci est dans sa première position, ainsi que le font voir les figures 113 et 114.

Cela posé, le piston de droite, se soulevant, aspire l'air du récipient; mais, lorsqu'il descend, l'air qui vient d'être aspiré est refoulé dans le corps de pompe de gauche à travers l'orifice *a*, le canal *ci* et la soupape *o* (fig. 115), qui est alors ouverte. Lorsque ensuite le même piston remonte, celui de gauche s'abaisse; mais l'air qui est au-dessous ne retourne pas dans le corps de pompe de droite, parce que la soupape *o* est maintenant fermée. Le piston de droite continuant ainsi à aspirer de l'air du récipient et à le refouler dans le corps de pompe de gauche, l'air s'accumule dans celui-ci, et finit par y prendre la tension suffisante pour soulever la soupape du piston *Q*, ce qui était impossible avant que le robinet fût tourné; car ce n'est que lorsque les soupapes, dans les pistons, refusent de s'ouvrir, qu'on le tourne d'un quart de tour.

176. Usages de la machine pneumatique. — On a déjà fait connaître un grand nombre d'expériences faites à l'aide de la machine pneumatique. Telles sont celles de la pluie de mercure (15), de la chute des corps dans le vide (52), de la vessie dans le vide (127), du crève-vessie (135), des hémisphères de Magdebourg (135) et du baroscope (167).

La machine pneumatique sert encore à démontrer que l'air, par l'oxygène qu'il contient, est nécessaire à l'entretien de la combustion et de la vie. En effet, si l'on place sous le récipient un corps enflammé, une bougie, par exemple, on voit la flamme pâlir à mesure qu'on fait le vide, puis s'éteindre. Les mammifères et les oiseaux périssent presque instantanément dans le vide. Les poissons et les reptiles supportent beaucoup plus longtemps la privation de l'air. Quant aux insectes, ils peuvent vivre plusieurs jours dans le vide.

Dans le vide, les substances fermentescibles se conservent sans altération pendant un temps très-long, n'étant pas en contact avec l'oxygène, qui est nécessaire à la fermentation. Des aliments conservés dans des boîtes hermétiquement fermées, d'où l'on avait chassé l'air, ont été trouvés aussi frais au bout de plusieurs années que le premier jour.

La fontaine dans le vide, représentée dans la figure 117, est encore une expérience qui se fait avec la machine pneumatique, et qui sert à démontrer la force expansive de l'air. C'est un flacon

contenant de l'eau et de l'air. Le goulot est fermé par un bouchon, à travers lequel passe un tube qui plonge dans le liquide. Ce flacon étant posé sous le récipient, aussitôt qu'on raréfie l'air de celui-ci, on voit l'eau jaillir au sommet du tube; ce qui est dû à la force élastique de l'air renfermé dans le flacon.

Enfin, la figure 118 représente une expérience qui montre l'effet de la pression atmosphérique sur le corps humain. Un manchon de

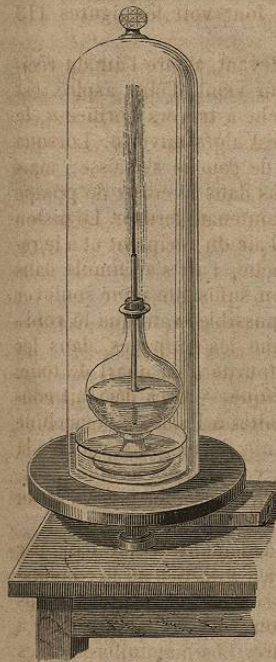


Fig. 117.

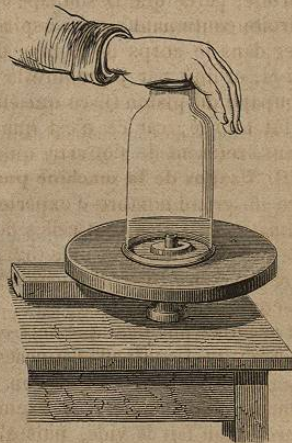


Fig. 118

verre, ouvert à ses deux extrémités, étant posé sur la platine de la machine, on place la paume de la main sur ses bords, et une autre personne fait le vide. Alors, la pression atmosphérique ne se faisant plus équilibre sur les deux faces de la main, celle-ci est fortement pressée sur les bords du manchon, et ce n'est qu'avec effort qu'on peut l'en retirer. De plus, l'élasticité des fluides que contiennent les organes n'étant plus contre-balancée par le poids de l'atmosphère, la paume de la main se gonfle, et le sang tend à sortir par les pores.

177. Problèmes sur la machine pneumatique. — I. Calculer la tension de l'air sous le récipient de la machine pneumatique après *n* coups de piston. Soient *V* le volume du récipient, *v* celui du corps de pompe, déduction faite

de l'espace occupé par le piston, et  $H$  la pression atmosphérique extérieure. La machine n'ayant pas encore fonctionné, et le piston étant au bas de sa course, on a sous le récipient un volume d'air  $V$  à la pression  $H$ . Or, lorsque le piston est arrivé au haut de sa course, ce volume devient  $V+v$ , et la tension  $H$  prend une valeur  $H'$  qu'on détermine en posant, d'après la loi de Mariotte,

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

Lorsque le piston s'abaisse, le volume d'air  $v$  est expulsé, et l'on a encore sous le récipient le même volume d'air  $V$ , mais à la tension  $H'$ . Puis à la deuxième ascension du piston, le volume d'air devient de nouveau  $V+v$  à une tension  $H''$  telle, que, comme ci-dessus,

$$H'' = H' \cdot \frac{V}{V+v} = H \left( \frac{V}{V+v} \right)^2.$$

À la troisième ascension du piston, on trouve de même que la pression sous le récipient est  $H \left( \frac{V}{V+v} \right)^3$ , et ainsi de suite; d'où l'on conclut qu'après le  $n$ ème coup de piston, elle est enfin

$$H \left( \frac{V}{V+v} \right)^n \text{ [1].}$$

L'expression  $\frac{V}{V+v}$  est nécessairement une fraction, et l'on sait que les puissances d'une fraction sont d'autant plus petites, que le degré en est plus élevé. Par suite, d'après la formule [1], plus  $n$  sera grand, plus la force élastique sous le récipient sera petite; mais ce n'est que lorsque  $n$  sera infini, que la fraction  $\left( \frac{V}{V+v} \right)^n$  sera nulle. D'où l'on conclut que théoriquement, comme pratiquement, il est impossible de faire le vide absolu avec la machine pneumatique.

II. Calculer le poids de l'air qui reste sous le récipient après  $n$  coups de piston.

Cette question est facile à résoudre en s'appuyant sur la formule [1] ci-dessus. En effet, soient  $P$  le poids de l'air sous le récipient avant que la machine ait fonctionné, et  $p$  ce poids après  $n$  coups de piston. Les poids étant proportionnels aux pressions, on a

$$\frac{p}{P} = \frac{H \left( \frac{V}{V+v} \right)^n}{H}, \text{ ou } \frac{p}{P} = \left( \frac{V}{V+v} \right)^n, \text{ d'où } p = P \left( \frac{V}{V+v} \right)^n.$$

Quant à  $P$ , on sait déjà (153, prob. III) que sa valeur est donnée par la formule  $P = \frac{1^{\text{st}}, 293 \times H \times V}{76}$ .

$$\text{Donc } p = \frac{1^{\text{st}}, 293 \times H \times V}{76} \left( \frac{V}{V+v} \right)^n \text{ [2].}$$

Dans la résolution de cette question, on a supposé que la température était constamment zéro. Si elle variait, on verra, en traitant de la dilatation des gaz, la modification à apporter à la formule [2].

\* 178. **Machine pneumatique à double effet de M. Bianchi.** — M. Bianchi, constructeur à Paris, a adopté depuis quelques années un système de machine pneumatique qui présente plusieurs avantages. Cette machine, qui est toute de fonte, n'a qu'un seul cylindre, oscillant sur un axe horizontal fixé à sa base, comme le montre la figure 119. Sur un bâti de fonte est monté un arbre horizontal,

avec un volant très-lourd  $V$ , qu'on fait tourner à l'aide d'une manivelle  $M$ . À ce même arbre est fixée une manivelle  $m$  qui s'articule à la tête de la tige du piston. Par suite, à chaque révolution

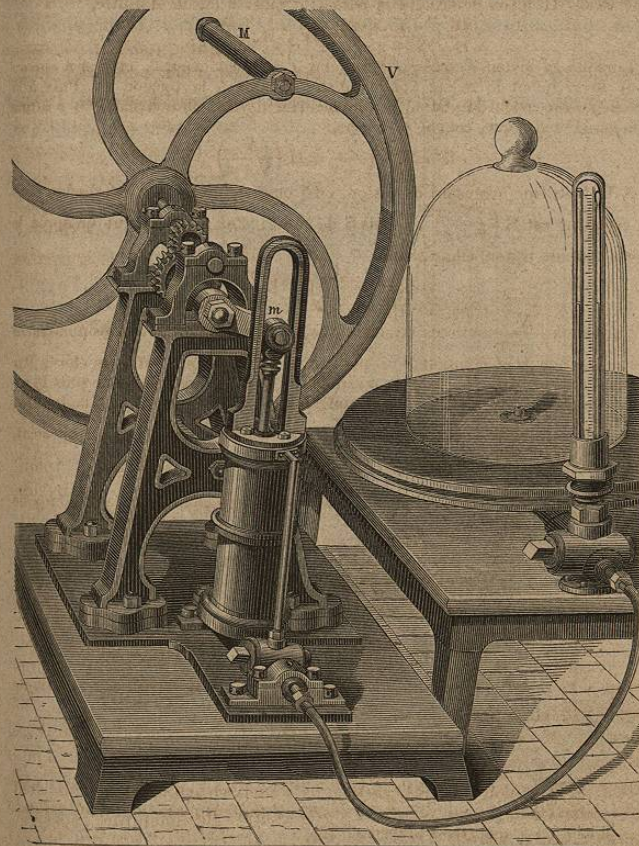


Fig. 119.

complète du volant, le cylindre fait deux oscillations sur son axe.

La machine est à double effet, c'est-à-dire que le piston PP (fig. 120) fait le vide en montant et en descendant. Pour cela, il porte une soupape  $b$ , ouvrant de bas en haut, comme dans la ma-

chine ordinaire; mais en outre la tige AA est creuse, et dans son intérieur est un tube X, de cuivre rouge, destiné à donner issue à l'air qui sort par la soupape *b*. Au haut du cylindre est une seconde soupape *a*, ouvrant aussi de bas en haut. Enfin, une tige de fer D traverse à frottement doux le piston,

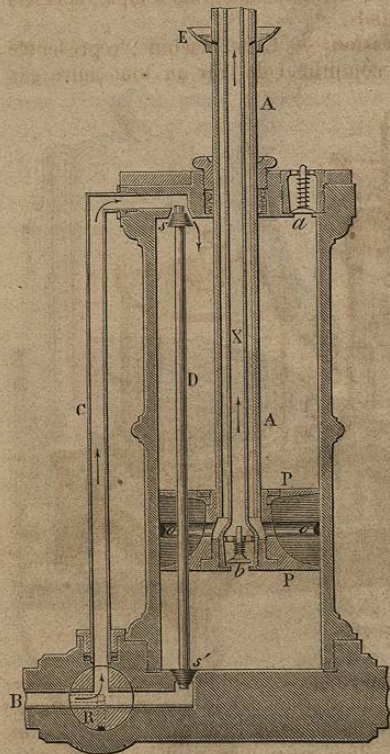


Fig. 120.

Ces détails connus, supposons que le piston descende. La soupape *s'* est alors fermée, et la soupape *s* étant ouverte, l'air du récipient se rend au-dessus du piston, tandis qu'en dessous l'air comprimé par celui-ci soulève la soupape *b* et se dégage par le tube X, qui communique avec l'atmosphère. Quand le piston remonte, l'aspiration se fait par *s'*, et la soupape *s* étant fermée, l'air comprimé se dégage par la soupape *a*.

La machine possède un robinet à double épaulement R, semblable à celui déjà décrit (175). Elle est en outre munie d'un système de graissage très-ingénieux. Pour cela, un godet E (fig. 120) fixé à la tige, est rempli d'huile qui tombe dans l'espace annulaire compris entre la tige AA et le tube X; de là elle se rend dans un petit tube oo pratiqué dans la masse du piston, et, refoulée par la pression atmosphérique, elle se distribue d'une manière permanente sur le pour-

tour du piston. La machine contient encore plusieurs détails de construction importants, qu'il nous est impossible de décrire ici. Il suffira d'observer qu'étant toute de fonte, elle peut recevoir des dimensions beaucoup plus grandes que la machine ordinaire à deux pistons, et faire le vide en bien moins de temps, dans des appareils beaucoup plus grands.

179. **Machine de compression.** — Cette machine, représentée dans la figure 121, sert à comprimer de l'air ou tout autre gaz

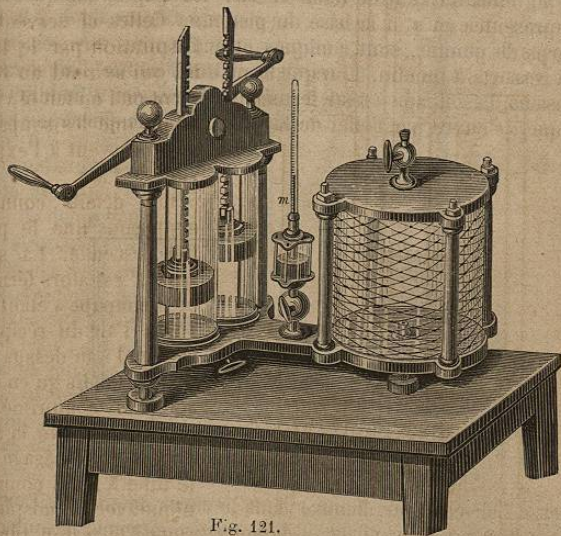


Fig. 121.

dans un récipient. Elle a beaucoup de rapport avec la machine pneumatique, dont elle ne diffère que par le jeu des soupapes. Comme elle, en effet, elle se compose de deux corps de pompe et d'un récipient. Mais celui-ci, tendant à être soulevé par la force élastique du gaz qu'on y comprime, est fortement fixé à la platine. Pour cela, il est formé d'un cylindre de verre ouvert aux deux extrémités, dont les bords sont bien dressés. D'une part il s'appuie sur la platine A, et, de l'autre, il est fermé par une seconde platine de glace B (fig. 122), percée de quatre trous, dans lesquels passent quatre boulons de fer D fixés sur la platine. Au moyen de ces boulons et d'écrous E, on serre la glace B sur le cylindre. Enfin, pour prévenir les accidents qui pourraient avoir lieu si le cylindre était