

Résumé.

I. L'air, comme tous les corps de la nature, est soumis à l'action de la pesanteur. La pression atmosphérique est la conséquence de cette action. On la met en évidence au moyen de deux expériences : le crève-vessie et les hémisphères de Magdebourg.

II. Le *baromètre* est un instrument destiné à mesurer la pression atmosphérique. On en distingue plusieurs sortes : le baromètre à cuvette de Torricelli, celui de Fortin, le baromètre à siphon de Gay-Lussac, le baromètre à cadran et le baromètre métallique de Bourdon

III. La pression atmosphérique est soumise à deux sortes de variations : les variations accidentelles ou irrégulières et les variations périodiques nommées variations diurnes. Les premières vont en augmentant d'amplitude de l'équateur aux pôles, et sont en rapport avec certains états de l'atmosphère.

IV. La hauteur moyenne du baromètre au niveau des mers est de 0^m,76.

V. On emploie le baromètre pour les observations météorologiques et pour la mesure des hauteurs.

VI. Le baromètre s'élève généralement quand le temps doit être beau et sec : il s'abaisse dans le cas contraire. De là l'usage du baromètre pour connaître d'avance les variations atmosphériques.

VII. A mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, la pression atmosphérique diminue, et par conséquent la colonne barométrique s'abaisse. On peut donc, à l'aide du baromètre, mesurer la hauteur verticale d'un lieu au-dessus du niveau de la mer.

VIII. La pression atmosphérique est considérable; elle équivaut en moyenne à 103 kilogrammes sur chaque décimètre carré de surface; elle s'exerce dans tous les sens avec une égale intensité.



CHAPITRE VIII.

Loi de Mariotte. — Manomètres. — Machine pneumatique.

Loi de Mariotte.

105. *Loi de Mariotte.* — Cette loi, découverte par Mariotte, physicien français du 17^e siècle, a pour objet la relation qui existe entre les volumes d'une masse donnée de gaz et les pressions qu'elle supporte; elle s'énonce ainsi : *Les volumes occupés par une masse donnée de gaz, à une température constante, sont en raison inverse des pressions qu'elle supporte.*

Pour vérifier cette loi, on prend un tube cylindrique CABD (fig. 77) recourbé en forme de siphon et fixé verticalement à une planchette en bois. La petite branche BD est fermée et graduée en parties d'égale capacité; l'autre branche AC, beaucoup plus longue, est ouverte et simplement divisée en centimètres. On commence par verser un peu de mercure dans le tube, de manière que les deux niveaux soient sur un même plan horizontal BA dans les deux branches. L'air enfermé dans la courte branche possède alors une force élastique égale à la pression de l'atmosphère. On note avec soin le nombre de divisions occupé par cet air, puis on verse de nouveau du mercure dans la grande branche, jusqu'à ce que le volume de l'air intérieur soit réduit de moitié. Si l'on mesure alors la hauteur de la colonne de mercure comprise entre les deux niveaux F et C, on trouve qu'elle est égale à celle du mercure dans le baromètre, et, par suite, qu'elle équivaut à une pression atmosphérique. En ajoutant à cette pression celle de l'atmosphère qui s'exerce en C au sommet de la colonne, on voit qu'au moment où le volume d'air est réduit de moitié, sa force élastique ou la pression qu'il supporte est double de ce qu'elle était d'abord. On constaterait de même

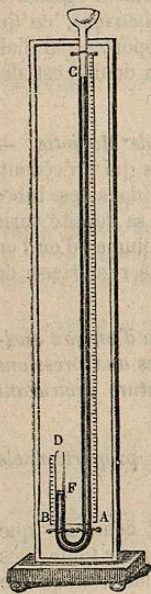


Fig. 77.

que pour une pression *triple, quadruple, etc.*, le volume se réduirait au *tiers, au quart, etc.*, et ainsi de suite; ce qui démontre la loi énoncée.

La loi de Mariotte s'applique également à des pressions moindres que celle d'une atmosphère. Pour le démontrer, on prend un long tube (*fig. 78*) gradué en parties d'égale capacité, fermé par un bout et ouvert par l'autre. On le remplit de mercure jusqu'aux trois quarts environ, l'autre quart contenant de l'air; puis on le plonge dans une éprouvette profonde également remplie de mercure, et on l'enfonce jusqu'à ce que le niveau du liquide soit le même dans le tube et dans l'éprouvette. L'élasticité de l'air intérieur est alors égale à la pression atmosphérique. Cela fait, on soulève le tube jusqu'à ce que le volume primitif AB de l'air soit doublé. Le mercure s'élève alors dans le tube en une colonne CD, dont la hauteur est précisément égale à la moitié de la hauteur barométrique, ce qui prouve que la pression supportée par l'air intérieur dont le volume a doublé est devenue moitié moindre.



Fig. 78.

Conséquences de la loi de Mariotte. — Dans les deux expériences qui précèdent, le poids de l'air enfermé dans les tubes restant toujours le même, sa densité varie en raison inverse de son volume; d'où l'on déduit, comme conséquence rigoureuse de la loi de Mariotte, que :

1° Les densités de l'air ou d'un gaz quelconque sont proportionnelles aux pressions qu'il supporte, la température demeurant constante;

2° Les poids d'un même volume de gaz sont proportionnels aux pressions auxquelles il est soumis.

Remarque. — MM. Despretz et Regnault ont démontré que la loi de Mariotte n'est pas absolument vraie pour toutes les pressions et pour tous les gaz. Ainsi Despretz a fait voir qu'elle cesse d'être exacte lorsque les gaz subissent des pressions qui

les rapprochent beaucoup de leur liquéfaction. Dans ces derniers temps, M. Regnault a constaté des variations dans la loi pour les différents gaz. L'oxygène et l'azote se compriment un peu plus, tandis que l'hydrogène se comprime un peu moins que la loi ne l'indique. L'acide carbonique présente aussi d'assez grandes irrégularités. Toutefois, ces variations dans la loi de Mariotte ne se produisant que sous des pressions très-considérables et tout à fait exceptionnelles, on peut, dans la plupart des cas où cette loi doit être appliquée, c'est-à-dire pour des pressions moyennes, la considérer comme rigoureusement exacte.

106. *Problèmes sur la loi de Mariotte.* — 1° Soit V le volume d'une masse de gaz à une température donnée, sous la pression P: on demande ce que deviendra ce volume sous une pression P', la température restant la même.

Les volumes étant en raison inverse des pressions, en représentant par V' le volume cherché, on aura la proportion suivante :

$$\frac{V'}{V} = \frac{P}{P'}, \quad \text{d'où} \quad V' = \frac{V \times P}{P'}$$

En faisant $V = 35^{\text{cent cub}}$, $P = 0^{\text{m}},75$, et $P' = 0^{\text{m}},78$, on aurait

$$V' = \frac{35 \times 75}{78} = 33^{\text{cent}},653^{\text{mm cub}}$$

2° Soit P la force élastique ou la pression supportée par une masse de gaz dont le volume est V: on demande quelle sera la force élastique P' de ce gaz, si son volume devient V', la température restant constante.

D'après la loi de Mariotte :

$$\frac{P}{P'} = \frac{V'}{V}; \quad \text{d'où} \quad P' = \frac{P \times V}{V'}$$

3° Soit D la densité d'un gaz sous une pression P: on demande quelle sera sa densité D' sous une pression P'.

Les densités d'un gaz étant proportionnelles aux pressions qu'il supporte, on aura :

$$\frac{D'}{D} = \frac{P'}{P} \quad \text{d'où} \quad D' = \frac{DP'}{P}$$

4° Soit p le poids d'un volume de gaz sous une pression P : on demande quel sera le poids p' d'un même volume de ce gaz sous une pression P' .

Les poids, à volume égal, étant proportionnels aux densités, on aura

$$\frac{p'}{p} = \frac{D'}{D} = \frac{P'}{P} \quad (3)$$

d'où

$$p' = p \times \frac{P'}{P}.$$

5° On demande à quelle profondeur il faudrait plonger, dans la mer, une cloche remplie d'air sous la pression 0,76, pour que le volume de cet air fût réduit au quart, sachant qu'une colonne d'eau de mer de 10 mètres de hauteur fait équilibre à la pression moyenne de l'atmosphère.

Les volumes des gaz étant en raison inverse des pressions, la masse d'air contenue dans la cloche devra, pour que son volume se réduise au quart, supporter une pression quatre fois plus forte. Or, comme une colonne d'eau de mer de 10 mètres de hauteur exerce une pression égale à la pression atmosphérique, il s'ensuit qu'il faudra enfoncer la cloche à une profondeur de 3 fois 10 mètres ou 30 mètres, ce qui donnera, avec la pression atmosphérique ordinaire, une pression totale de 4 atmosphères sur l'air contenu dans la cloche.

6° Un ballon de 40 litres plein d'air, à 0,76, est mis en communication avec un ballon vide de 15 litres; on demande : 1° la pression de l'air dans les deux ballons; 2° le poids de l'air qui reste dans le premier ballon, sachant que 4 litre d'air sec à 0° pèse 1^{er},30.

1° La pression de l'air dans le premier ballon étant de 76 centimètres, si nous appelons h la pression de cet air quand il est répandu également dans les deux ballons, c'est-à-dire quand son volume qui était d'abord 40 litres en occupe 25, nous aurons

$$\frac{h}{76} = \frac{40}{25} \quad \text{d'où} \quad h = \frac{76 \times 40}{25} = 30^{\text{e}}, 4.$$

2° Le poids de l'air contenu dans le premier ballon, avant la communication, était de 1^{er},30 \times 10 ou 13 grammes, sous la pression de 76 centim. Or, comme à volumes égaux les poids des gaz sont proportionnels aux pressions, nous aurons, en appelant x le poids demandé

$$\frac{x}{13} = \frac{30,4}{76} = \frac{10}{25}, \quad \text{d'où} \quad x = \frac{13 \times 10}{25} = 5^{\text{er}}, 20.$$

Manomètres.

107. Manomètres. — Ces instruments sont destinés à mesurer la tension d'un gaz fortement comprimé, ou les pressions qui s'exercent dans les machines à vapeur. On en distingue trois espèces : 1° le manomètre à air libre; 2° le manomètre à air comprimé; 3° le manomètre métallique.

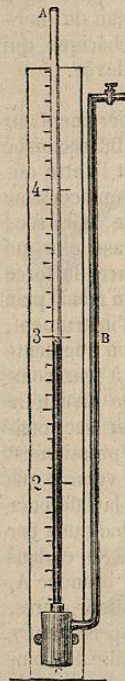


Fig. 79.

1° Manomètre à air libre. Cet appareil se compose (fig. 79) d'un tube A en cristal, long de 4 à 5 mètres, ouvert à son extrémité supérieure et plongeant par son extrémité inférieure dans du mercure que contient une cuvette C en fer forgé. Le tube et la cuvette, très-solidement fixés l'un à l'autre, sont montés sur une planche de sapin destinée à recevoir la graduation. Un second tube en fer B, communiquant avec la cuvette, sert à transmettre au mercure la pression du gaz comprimé ou de la vapeur.

Pour graduer ce manomètre, il suffit de marquer 4, c'est-à-dire une atmosphère, au point où le mercure est au même niveau dans le tube et dans la cuvette; puis, à partir de ce point, de 76 en 76 centimètres, on marque successivement 2, 3, 4, 5, ... qui indiquent le nombre d'atmosphères. Il faut toutefois tenir compte, dans cette graduation, de l'abaissement du mercure dans la cuvette, à mesure qu'il s'élève dans le tube.

Cet abaissement est facile à calculer : soit en effet R le rayon intérieur de la cuvette, r le rayon intérieur du tube, et r' son rayon extérieur, c'est-à-dire comprenant l'épaisseur du verre. La surface annulaire du mercure dans la cuvette sera égale à $\pi R^2 - \pi r'^2$ et celle du mercure dans le tube à πr^2 . Supposons que l'on ait trouvé ainsi que la surface du mercure dans la cuvette soit 36 fois celle du mercure dans le tube; il en résultera que, quand le mercure s'élèvera de n centimètres dans le tube, il s'abaissera de $\frac{n}{36}$ centimètres

dans la cuvette. La différence de hauteur des deux niveaux sera donc toujours égale, dans ce cas, à $n + \frac{n}{36}$ centimètres, n étant compté à partir du niveau normal, c'est-à-dire du point où la pression étant d'une atmosphère dans le tube et dans la cuvette, les deux niveaux du mercure sont à la même hauteur, abstraction faite des effets de la capillarité.

La pression indiquée par le manomètre que représente la *fig. 79* est de 3 atmosphères, parce qu'elle se compose de 2 fois la hauteur de 76 centimètres au-dessus du niveau du mercure dans la cuvette, plus de la pression atmosphérique qui s'exerce au sommet de la colonne de mercure soulevée.

2° *Manomètre à air comprimé.* Celui-ci repose entièrement sur la loi de Mariotte. Il consiste (*fig. 80*) en un tube ABC recourbé sur lui-même, dont l'une des branches est fermée et l'autre ouverte. La courbure B contient du mercure jusqu'à une certaine hauteur. Dans la branche fermée A se trouve de l'air sec; l'autre branche ouverte C communique avec le vase clos qui contient le gaz ou la vapeur dont il s'agit de mesurer la force élastique. Quand les deux niveaux n et n' sont sur un même plan horizontal, la pression, dans les deux branches de l'instrument, est égale à celle de l'atmosphère. Mais si la pression augmente dans la chaudière à vapeur ou dans le récipient à gaz comprimé, avec lesquels la branche C communique, le niveau n' s'abaisse et le niveau n s'élève en comprimant l'air sec contenu dans la branche fermée A. La pression est alors mesurée par la réduction de volume que l'air du manomètre a subie, jointe à la différence des deux niveaux. Ainsi la pression indiquée par le manomètre que représente la *fig. 80*, et dans lequel le volume de l'air, dans la branche A, est réduit de moitié, est égale à 2 atmosphères, plus la colonne de mercure comprise entre les deux niveaux p et p' . Il est facile de comprendre comment on peut graduer d'avance le tube A pour déterminer la position exacte du niveau p à 3, 4, 5, 6 atmosphères, etc. Il suffit pour cela de calculer la hauteur de ce niveau de manière que la force élastique de l'air comprimé, ajoutée au poids de la colonne de mercure comprise entre lui et le niveau



Fig. 80.

de mercure comprise entre lui et le niveau

p' , représente, d'après la loi de Mariotte, les pressions indiquées.

Dans la pratique, le tube fermé AB, au lieu de se recourber en une branche ouverte d'égale section, comme nous l'avons supposé pour faciliter la démonstration, plonge (*fig. 81*), comme celui du manomètre à air libre, dans une cuvette en fer forgé remplie de mercure et communiquant par un tube latéral également en fer avec le récipient dans lequel est le gaz ou la vapeur dont on veut mesurer la tension. Cette tension est encore indiquée par la réduction du volume d'air que contient le tube jointe à la différence de hauteur des deux niveaux du mercure dans le tube et dans la cuvette. L'abaissement de ce dernier niveau, à mesure que le mercure s'élève dans le tube, se calcule de la même manière que dans le manomètre à air libre.



Fig. 81.

3° *Manomètre métallique.* Ce manomètre, inventé par M. Bourdon, mécanicien à Paris, repose sur le principe suivant : Toute pression exercée à l'intérieur d'un tube à parois flexibles et roulé en hélice, tend à le dérouler, et réciproquement toute pression extérieure tend à l'enrouler davantage. L'appareil, d'après ce principe, se compose (*fig. 82*) d'un tube en laiton T de 70 centimètres de longueur, à parois minces, flexibles et légèrement aplaties, roulé en hélice et placé dans un cadre elliptique. L'extrémité A du tube, qui est ouverte, communique, par une tubulure munie d'un robinet, avec la chaudière à vapeur. L'autre extrémité b, qui est fermée, est libre, ainsi que tout le reste du tube, et se termine par une aiguille destinée à indiquer sur un cadran la tension de la vapeur exprimée en atmosphères. On gradue le cadran en soumettant l'appareil à l'action de l'air com-

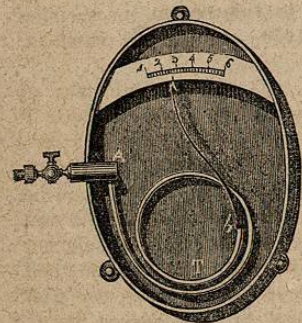


Fig. 82.

Physique.

f 9

primé, et en marquant successivement les positions que prend l'aiguille pour 1, 2, 3, 4, 5... atmosphères mesurées par un manomètre à air libre. Ce manomètre est principalement employé pour les locomotives.

M. Bourdon, ainsi que nous l'avons vu, a construit, d'après le même principe, un baromètre métallique à cadran d'un mécanisme fort simple et très-ingénieux.

Problème. La branche fermée d'un manomètre à air comprimé renferme une colonne d'air de 24 centimètres de hauteur quand les niveaux du mercure dans les deux branches sont sur un même plan horizontal. La branche ouverte étant mise en communication avec le récipient d'une machine de compression, le mercure s'élève dans la branche fermée à 48 centimètres au-dessus de son premier niveau : on demande quelle est la tension de l'air dans le récipient.

En supposant les deux branches du manomètre d'égale section, la différence des deux niveaux du mercure sera de 36 centimètres. Or, l'air contenu dans la branche fermée étant réduit au quart du volume qu'il avait sous la pression de l'atmosphère, il est facile de voir que la pression demandée est égale à 4 atmosphères plus 36 centimètres de mercure, c'est-à-dire environ 4 atmosphères et demie.

Machine pneumatique.

108. Machine pneumatique. — Cet appareil est destiné à faire le vide dans un espace donné, ou, plus rigoureusement, à raréfier beaucoup l'air qu'il contient; car nous démontrerons bientôt qu'on ne peut pas obtenir le vide absolu. La machine pneumatique a été inventée, en 1650, par Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg.

Cette machine se compose (fig. 83) de deux cylindres en cristal ou en cuivre, dans chacun desquels est un piston P formé de plusieurs rondelles de cuir et muni d'une tige à crémaillère dont les dents engrènent avec un pignon qu'on fait mouvoir alternativement de gauche à droite et de droite à gauche à l'aide d'un double levier M. Les deux corps de pompe sont fixés à leur base sur un support en cuivre et communiquent par deux conduits avec un canal ED (fig. 84), nommé canal d'aspiration, et dont l'extrémité vient s'ouvrir au centre d'un disque C recouvert d'une glace épaisse et bien dressée. Sur ce

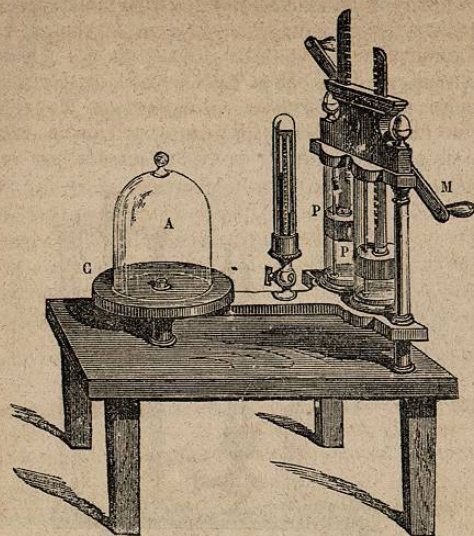


Fig. 83.

disque, qu'on nomme la *platine*, se place le récipient A dans lequel on veut faire le vide. Chacun des deux conduits du canal d'aspiration ED, en communication avec les corps de pompe, se termine par une ouverture conique et est muni d'une soupape F de même forme s'ouvrant de *bas en haut* c'est-à-dire du récipient dans le corps de pompe.

Cette soupape est surmontée d'une tige FT qui traverse à frottement le piston P, et qui porte à sa partie supérieure un bouton Y destiné à l'arrêter, lorsque le piston s'élève, à quelques millimètres au-dessus de l'ouverture conique du conduit d'aspiration. Le piston P porte également une soupape J, s'ouvrant aussi de *bas en haut*, c'est-à-dire de dedans en dehors, et que maintient un léger ressort à boudin. Un robinet O sert à établir ou à intercepter la communication du récipient et des corps de pompe.

Pour bien comprendre le jeu de la machine, il suffit d'examiner ce qui se passe dans l'un des deux corps de pompe, le mécanisme de l'autre étant parfaitement identique. Supposons d'abord le piston P (fig. 84) au bas de sa course : dès qu'on le soulève, il entraîne avec lui la tige de la soupape F, qui s'élève

aussitôt à quelques millimètres au-dessus de l'ouverture qu'elle fermait ; cette tige est ensuite arrêtée par le bouton Y, et le piston continue à monter seul, en glissant sur elle à frottement doux. La soupape J du piston reste fermée en vertu de son propre poids et de la pression atmosphérique. Le vide tend alors à se former au-dessous du piston, et l'air du récipient, en vertu de son élasticité, se précipite aussitôt par le canal

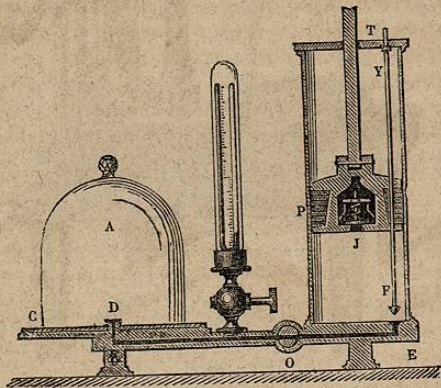


Fig. 84.

d'aspiration ED dans l'intérieur du corps de pompe, en se répandant uniformément dans tout l'espace qui lui est offert. Si on abaisse alors le piston, la tige de la soupape F est immédiatement entraînée de haut en bas, et cette soupape ferme aussitôt l'orifice du canal d'aspiration, dans lequel elle s'applique exactement, de telle sorte que l'air qui vient de se répandre dans le corps de pompe ne peut plus retourner dans le récipient. Le piston continuant à descendre en glissant sur la tige de la soupape F, l'air qui est au-dessous se comprime de plus en plus, et il arrive un moment où sa force élastique devient supérieure à la pression atmosphérique augmentée du poids de la soupape J du piston. Cette soupape est alors soulevée, et l'air comprimé s'échappe au dehors par des ouvertures pratiquées à la partie supérieure du corps de pompe. Quand le piston est ainsi arrivé au bas de sa course, tout l'air qui avait été extrait du récipient est sensiblement expulsé. Un second coup de piston donnera naissance à la même série

de phénomènes, et ainsi de suite. Le jeu de la machine se réduit donc aux deux conditions suivantes : *Quand le piston monte, sa soupape reste fermée et la soupape du canal d'aspiration s'ouvre ; quand il s'abaisse, sa soupape s'ouvre et la soupape du canal d'aspiration se ferme.*

109. *Loi de la raréfaction de l'air dans le récipient de la machine pneumatique.* — Quelle que soit la perfection de la machine, on ne peut jamais parvenir à faire le vide absolu dans le récipient. Admettons, en effet, que la capacité du corps de pompe soit la cinquième partie de la capacité du canal d'aspiration et du récipient réunis. Le premier coup de piston fera sortir $\frac{1}{6}$ de la masse totale de l'air contenu ; le deuxième coup de piston enlèvera $\frac{1}{6}$ du reste ; le troisième coup enlèvera encore $\frac{1}{6}$ du nouveau reste, et ainsi de suite selon une progression par quotient décroissante. Donc le vide absolu ne peut être fait.

Éprouvette. — Pour mesurer le degré de raréfaction de l'air dans le récipient, on adapte à la machine une éprouvette en cristal (fig. 85 et 86), pouvant communiquer avec le canal d'aspiration et contenant un petit baromètre à siphon tronqué B, de 15 à 20 centimètres de hauteur. Lorsque le récipient est plein d'air, la branche fermée (fig. 85) est remplie de mercure dont le niveau, dans la branche ouverte, se trouve alors en M. Lorsque l'air intérieur est suffisamment raréfié, le mercure descend dans la branche fermée et s'élève dans la branche ouverte. Si le vide absolu était possible, les deux niveaux K et L (fig. 86) arriveraient à la même hauteur ; mais ce résultat ne pouvant être obtenu, il y a toujours une différence de hauteur à l'avantage de la branche fermée, d'autant moindre que la raréfaction est plus grande.

Les anciennes machines ne faisaient le vide qu'à 2 millimètres ; mais, à l'aide d'un mécanisme inventé par Babinet, on peut maintenant pousser la raréfaction jusqu'à moins de 1 millimètre de pression.



Fig. 85.



Fig. 86.

Machine de Bianchi. — La machine pneumatique que nous venons de décrire pourrait être construite avec un seul corps de pompe ; mais elle serait difficile à manœuvrer : car à mesure que le vide s'opérerait, la pression de l'air extérieur sur le piston s'opposerait de plus en plus à son mouvement ascensionnel. Dans ces derniers temps M. Bianchi est parvenu à faire disparaître cet inconvénient. Au moyen d'un tube extérieur d'aspiration et d'un système de soupapes qui permettent à l'air de pénétrer alternativement au-dessus et au-dessous du piston, cet ingénieux physicien a pu construire une machine à un seul corps de pompe, à laquelle il a donné son nom, et qui est aujourd'hui en usage dans plusieurs laboratoires.

110. *Usages de la machine pneumatique.* — La machine pneumatique sert à de nombreuses expériences. On démontre avec elle que l'air est l'aliment de la vie et de la combustion, que la pesanteur agit de la même manière sur tous les corps, que le son ne se transmet pas dans le vide, etc.

Le petit instrument connu en médecine sous le nom de *ventouse* est fondé sur la raréfaction de l'air. Il se compose d'une petite cloche en verre que l'on applique sur la peau, et dans laquelle on fait le vide au moyen d'une pompe à air, ou en y faisant brûler quelques gouttes d'alcool. On voit alors la peau se gonfler dans l'intérieur de la cloche et rougir fortement par suite de l'accumulation du sang dont l'élasticité n'est plus contrebalancée par le poids de l'atmosphère.

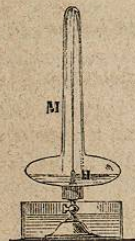


Fig. 87.

Si l'on fait le vide dans le petit appareil M (fig. 87) et que l'on place ensuite le pied de cet instrument dans l'eau, on voit, dès qu'on ouvre le robinet, la pression extérieure faire jaillir l'eau avec force par le tube H. C'est le *jet d'eau dans le vide*.

La machine pneumatique est encore utilisée dans les chemins de fer dits *atmosphériques*. Sur toute la longueur de la voie est placé entre les deux rails un gros tube de fonte. Une tige partant du premier wagon pénètre dans le tube par une fente longitudinale et se termine par un large piston qui se meut à frottement dans l'intérieur du tube. Cette fente est fermée hermétiquement par une bande de cuir qui s'ouvre au

moment où passe la tige du piston et se ferme aussitôt derrière elle. Une énorme machine pneumatique, installée à l'une des extrémités de la voie, et mise en jeu par une machine à vapeur fixe, fait le vide en avant du piston. L'air extérieur, poussant alors le piston sur l'autre face, fait marcher rapidement tout le convoi. Ce système, qui ne peut servir que pour de courtes distances, a fonctionné pendant plusieurs années entre Saint-Germain-en-Laye et le Pecq pour la traversée de la Seine.

Problème. La capacité de chacun des deux corps de pompe d'une machine pneumatique, déduction faite de l'espace occupé par le piston, est égale au cinquième de la capacité d'un récipient dans lequel on veut faire le vide. On demande quelle sera la force élastique de l'air qui restera dans le récipient après 40 coups de piston, en supposant que cette force élastique soit d'abord égale à 760 millimètres et que la température de l'air raréfié reste la même pendant l'expérience.

Lorsque l'un des pistons est arrivé au haut de sa course, le volume de l'air contenu dans le récipient, lequel volume était d'abord 5, devient $5 + 1$, puisque l'air se répand aussitôt dans le corps de pompe, dont nous supposons la capacité cinq fois plus petite que celle du récipient. Chaque coup de piston fera donc sortir $\frac{1}{6}$ de la quantité d'air

que contient le récipient. Or, les $\frac{5}{6}$ qui restent occupant toujours le même volume, leur force élastique sera égale aux $\frac{5}{6}$ de ce qu'elle était avant l'abaissement du piston. Donc les forces élastiques varieront comme les termes d'une progression par quotient dont le premier terme est 760 et la raison $\frac{5}{6}$; de sorte qu'après dix coups de piston

cette force élastique $f = 760 \times \left(\frac{5}{6}\right)^{10}$. En effectuant le calcul, on trouve

$$f = 122^{\text{mm}}, 744.$$

Il serait facile également de déterminer la quantité d'air qui reste dans le récipient. Admettons, en effet, que la capacité de ce récipient soit de 12 litres. Si nous supposons qu'après le 10^e coup de piston, la pression soit ramenée de 122^{mm}, 744 à ce qu'elle était d'abord, c'est-à-dire à 760 millimètres, le volume V de la quantité d'air qui reste dans le récipient deviendrait, en vertu de la loi de Mariotte,

$$V = \frac{12 \times 122,744}{760} = 1^{\text{lit}}, 938.$$

Formules. D'une manière générale, soit V le volume du récipient, v le volume du corps de pompe et H la force élastique de l'air avant l'opération :

Le piston soulevé, l'air du récipient acquiert aussitôt le volume $V + v$. Si nous désignons par H' la force élastique qu'il aura alors, nous aurons, d'après la loi de Mariotte :

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

De même, pour obtenir la force élastique H'' après le deuxième coup de piston, il suffira de multiplier H' ou sa valeur $\left(H \frac{V}{V+v}\right)$ par $\frac{V}{V+v}$, ce qui donnera

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

Après le troisième coup de piston, on trouverait de même $H''' = H \left(\frac{V}{V+v}\right)^3$, et ainsi de suite; d'où l'on conclut qu'après n coups de piston la force élastique H_n de l'air restant dans le récipient sera $H_n = H \left(\frac{V}{V+v}\right)^n$.

Remarque. Dans le fonctionnement de la machine pneumatique, il reste toujours sous les pistons, quand ils sont au bas de leur course, de petites cavités où une partie de l'air reste emprisonnée : c'est ce qu'on nomme l'espace nuisible. Or, il est facile de voir que quand l'air du récipient aura atteint un minimum de force élastique suffisant pour que la portion de cet air répandu dans le corps de pompe puisse être réduite au volume de l'espace nuisible, sans acquérir une force élastique supérieure à la pression atmosphérique, la soupape inférieure du piston ne pourra plus être soulevée. Cet air ne pourra donc s'échapper au dehors et, à partir de ce moment, il n'y aura aucun avantage à faire fonctionner plus longtemps la machine.

Machine de compression. Fontaine de Héron. Gazomètre.

111. *Machine de compression.* — Cette machine, destinée à comprimer de l'air ou tout autre gaz dans un récipient, est construite sur le modèle de la machine pneumatique. Elle n'en dif-

fère que par la disposition des soupapes, qui, au lieu de s'ouvrir de bas en haut, s'ouvrent de *haut en bas*, c'est-à-dire de dehors en dedans, et par le récipient, qui, au lieu d'être simplement posé sur la platine, est vissé solidement sur le canal. L'éprouvette est remplacée par un manomètre à air comprimé. Au lieu de cet appareil, on emploie souvent de préférence une simple *pompe de compression* dite *pompe à main*, d'une manœuvre plus facile, et qui permet en outre de comprimer d'autres gaz que l'air, ce que ne peut faire la machine de compression. Cet instrument se compose d'un cylindre ou corps de pompe dans lequel on fait mouvoir un piston plein. Au bas du cylindre sont deux tubulures munies de soupapes agissant de manière à produire l'aspiration et le refoulement alternatifs de l'air ou du gaz que l'on veut comprimer. La pompe de compression est principalement employée dans l'industrie pour la préparation des eaux gazeuses artificielles.

Divers appareils en usage dans l'industrie ou dans les cabinets de physique servent à utiliser la force élastique de l'air ou des gaz comprimés. Tels sont la fontaine de compression, celle dite de Héron, le fusil à vent, les soufflets et les machines soufflantes employés dans l'industrie métallurgique et le gazomètre des usines à gaz d'éclairage.

La *fontaine de compression* n'est autre chose (*fig. 88*) qu'un vase en métal AB , à parois très-résistantes, au fond duquel plonge un tube CD muni d'un robinet R . On verse de l'eau dans le vase de manière à le remplir à moitié ou aux deux tiers, et, au moyen de la machine, on comprime fortement l'air qui est au-dessus. Si l'on ouvre alors le robinet, l'eau jaillit aussitôt par l'orifice du vase à une hauteur d'autant plus grande que la pression ou la force élastique du gaz intérieur est plus considérable. Les flacons d'eau de seltz nommés siphons, que l'on sert sur nos tables, ne sont autre chose que des fontaines de compression dans lesquels l'acide carbonique remplace l'air comprimé.



Fig. 88.

La *fontaine de Héron*, du nom de son inventeur qui vivait à Alexandrie 120 ans avant l'ère chrétienne, se compose (*fig. 89*) d'une cuvette en cuivre C et de deux ballons de cristal B et D . Un premier tube en cuivre M fait communiquer la cuvette avec