

quant à la compression préalable de l'air dans les réservoirs, elle est le plus souvent produite par des chutes d'eau, que l'on trouve en abondance dans les pays de montagnes.

Les freins que l'on emploie sur la plupart des lignes de chemins de fer, pour arrêter les trains en quelques secondes, 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.

181. **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 être rapportées à trois types principaux : la pompe aspirante, la pompe foulante, et la pompe aspirante et foulante.

182. **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 enlever 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 clapets  $s, s'$  (fig. 159); il est garni d'étoupes sur son contour. La tige du piston s'articule avec un levier, au moyen duquel

Fig. 158.  
Pompe aspirante.

on lui imprime les mouvements d'ascension et de descente.

Supposons que, la pompe n'ayant pas encore fonctionné, on soulève

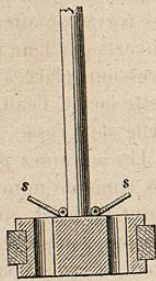


Fig. 159.

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 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.

185. **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; les pressions que supportent ses deux faces sont donc sensiblement égales. L'effort qu'il faut exercer, 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 exprimée, pour l'unité de surface, par  $H + h'$ ; la pression qu'il supporte de bas en

(\*) L'expérience montre que, 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 qui reste toujours au-dessous du piston quand il est au bas de sa course. Aussi, ne donne-t-on guère aux tuyaux d'aspiration plus de 7 à 8 mètres.

haut, sur sa face inférieure, est exprimée, pour l'unité de surface, par  $H - h$ . La résultante de ces deux pressions, rapportée toujours à l'unité de surface, est exprimée par la différence  $(H + h) - (H - h)$ , ou  $h' + h$ . Dès lors, si  $S$  est la surface du piston, la pression qui le sollicite, de haut en bas, est  $S(h' + h)$ . — On voit donc que l'effort à développer, pour soulever le piston, est représenté par le poids d'une colonne d'eau ayant pour base le piston, et pour hauteur la distance verticale du tuyau de déversement au niveau de l'eau dans le puisard. Cette force est, en général, assez considérable : il est donc avantageux de l'exercer par l'intermédiaire d'un levier (\*).

**184. 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 (185) 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, pour chaque coup de piston, est égal à  $shg \times l$  ergs.

Enfin, en remarquant 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 (51).

Le travail dépensé par coup de piston  $shg \times l$  est donc égal à l'accroissement d'énergie potentielle  $slg \times h$  de la masse d'eau soulevée.

**185. Pompe foulante.** — La pompe foulante (fig. 160) 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. 160.  
Pompe foulante.

Quand on soulève le piston, l'eau pénètre dans le cylindre, en franchissant la soupape  $S$ , pour remplir le vide qui tendrait à se former dans le corps de pompe. Quand on fait descendre le piston, la soupape  $S$  se ferme : la pression qu'on exerce sur l'eau ouvre la soupape  $s$ , et chasse l'eau du corps de pompe dans le tuyau de refoulement. — Dès que le liquide a atteint l'extrémité supérieure du tuyau de refoulement, la pompe débite, à chaque coup de piston, un volume d'eau égal à la capacité du corps de pompe. Mais l'écoulement du liquide se

(\*) Quant au levier lui-même, on peut remarquer que, dans la pompe aspirante,

produit pendant la descente du piston : c'est le contraire de ce qui avait lieu dans la pompe aspirante.

**186. Effort à développer.** — On verra, en raisonnant comme dans le cas précédent : 1° que l'effort à développer pour faire monter le piston est ici à peu près insignifiant; 2° que, pour le faire descendre, il faut lui appliquer une force au moins égale au poids d'une colonne d'eau ayant pour base le piston, et pour hauteur la distance verticale de l'orifice d'écoulement au niveau de l'eau dans le puisard (\*).

Mais les deux systèmes de pompes que nous venons d'étudier présentent, en outre, cette différence essentielle, que la pompe aspirante ne peut élever l'eau que jusqu'à une hauteur limitée (182), tandis que la pompe foulante, théoriquement du moins, peut l'élever à une hauteur quelconque, pourvu qu'on applique au piston une force suffisante. — Dans la pratique, il y a toujours, pour chaque pompe, une limite de hauteur, qui dépend de la résistance des parois et de l'adaptation plus ou moins parfaite de ses diverses pièces mobiles.

**187. Travail, par coup de piston.** — On démontrerait, comme pour la pompe aspirante (184), que le travail par coup de piston est égal à  $shg \times l$  ergs,  $s^{\text{cont}}$  désignant la surface du piston,  $l^{\text{cont}}$  la course du piston, et  $h^{\text{cont}}$  la distance du niveau du puisard à l'extrémité supérieure du tuyau de refoulement.

L'accroissement d'énergie potentielle de la masse d'eau élevée est  $slg \times h$  ergs; elle est égale au travail mécanique dépensé.

**188. Pompe à incendie.** — La pompe à incendie (fig. 161) est une pompe foulante. Elle présente, comme la machine pneumatique ordinaire, un système de deux corps de pompes accouplés; ils sont établis l'un à côté de l'autre dans une même auge, qui sera maintenue constamment pleine d'eau pendant la manœuvre. Les pistons  $a, a$ , sont mis en mouvement au moyen d'un levier  $OO$ , mobile autour d'un axe horizontal qui passe par son milieu : tandis que l'un des pistons s'élève, l'autre s'abaisse, et inversement. Au lieu de faire pénétrer l'eau directement dans le tuyau de refoulement, ils la font passer dans un réservoir  $e$  qui contient de l'air; le tuyau de refoulement  $dd$  prend naissance vers la partie inférieure de ce réservoir. Quand le piston de gauche

c'est un levier du premier genre (fig. 163), c'est-à-dire dont 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. Il en résulte que l'effort à développer, pour faire monter le piston, se produit en appuyant sur l'extrémité du levier, ce qui est, en raison de la conformation de nos organes, la disposition la moins fatigante.

(\*) Le levier, dans la pompe foulante, est un levier du second genre, c'est-à-dire dans lequel le point fixe est à l'une des extrémités du levier; l'effort s'exerce à l'autre extrémité, et la résistance est appliquée entre ces deux points. C'est donc encore en appuyant sur le levier qu'on triomphe de la résistance, ce qui est, comme nous l'avons fait remarquer (note précédente), la disposition la plus favorable, eu égard à la conformation de nos organes.

descend, le clapet *b* qui lui correspond se ferme, l'eau soulève le clapet *c*, et pénètre dans le réservoir *e*, dont elle comprime l'air; c'est

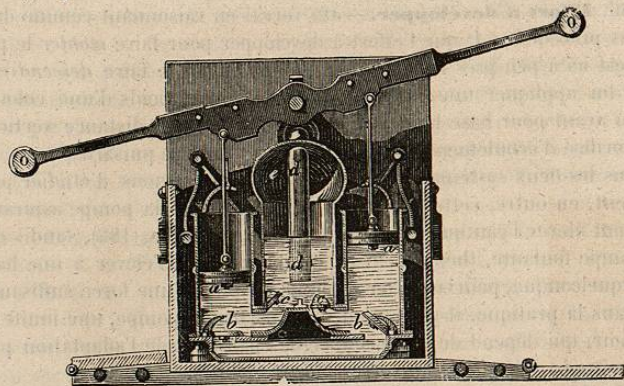


Fig. 161. — Pompe à incendie.

alors la force élastique de cet air qui fait monter l'eau dans le tuyau de refoulement. Quand le piston de gauche remonte, c'est le piston de droite qui chasse l'eau dans le réservoir, et qui produit un effet semblable. L'air étant sans cesse comprimé dans le réservoir *e*, même aux instants où le mouvement des pistons change de sens, il en résulte un jet sensiblement régulier, par le tube de cuivre ou *lance*, qui termine le tuyau de refoulement. — Pour manœuvrer la pompe, deux groupes d'hommes appuient alternativement sur des barres de bois qui traversent les deux extrémités du levier.

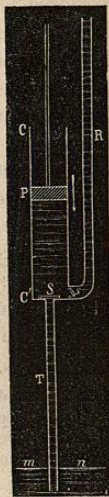


Fig. 162.

été dit dans les cas précédents.

Nous ferons remarquer enfin que, pour peu que le tuyau de refoulement *R* présente une assez grande hauteur, l'eau exerce sur la face



Fig. 163.  
Piston plongeur.

inférieure du piston une pression qui tend à chasser le liquide entre le piston et la paroi du corps de pompe. — On parvient à réaliser une fermeture plus exacte au moyen d'un *piston plongeur* (fig. 163) : c'est un cylindre métallique *P*, dont la hauteur est à peu près égale à celle du corps de pompe; il ne touche pas la paroi du cylindre, mais il traverse une garniture d'étoupes *E*, installée



Fig. 164.

à demeure à la partie supérieure du corps de pompe. Le piston prend ainsi, en descendant, la place de l'eau qu'il chasse dans le tuyau de refoulement.

#### 190. Pompe aspirante et élévatoire.

— On modifie quelquefois la construction de la pompe *aspirante*, de manière à la rendre capable d'élever l'eau à une hauteur plus ou moins grande dans un *tuyau d'ascension* *E* (fig. 164).

On ferme alors le corps de pompe à sa partie supérieure, et l'on fait passer la tige du piston dans une garniture d'étoupes fixe. A chaque ascension, en même temps que le piston aspire l'eau du puisard, il élève dans le tuyau *E* l'eau qui est au-dessus de lui. Lorsque le piston redescend, le clapet *S* se

ferme, et le liquide traverse les orifices des clapets *s* et *s'*, tandis que son niveau demeure immobile dans le tuyau d'ascension. — Cette disposition a reçu le nom de pompe *aspirante et élévatoire*. — On reconnaîtra facilement que, dans cette pompe, l'effort à développer, pour élever l'eau jusqu'au sommet du tuyau d'ascension, est égal au poids d'une colonne liquide ayant pour base le piston et pour hauteur la

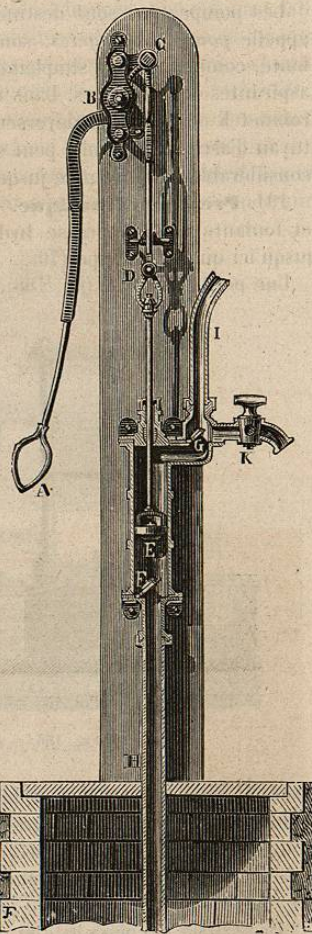


Fig. 165. — Pompe ménagère.

distance verticale de l'orifice d'écoulement au niveau de l'eau dans le puisard.

Les pompes qui sont destinées aux usages domestiques, et qu'on appelle *pompes ménagères*, sont souvent disposées pour servir, à volonté, comme pompes simplement aspirantes, ou bien comme pompes aspirantes et élévatoires. Dans celle que représente la figure 165, si le robinet K du tuyau de déversement est fermé, l'eau pénètre dans le tuyau d'ascension I : elle peut s'y élever à une hauteur plus ou moins considérable, par exemple jusqu'aux étages supérieurs d'un édifice (\*).

191. **Presse hydraulique.** — Nous retrouvons la pompe aspirante et foulante dans la presse hydraulique, dont nous n'avons indiqué jusqu'ici que le principe (70).

Une petite pompe F (fig. 166), à piston plongeur, puise l'eau dans un

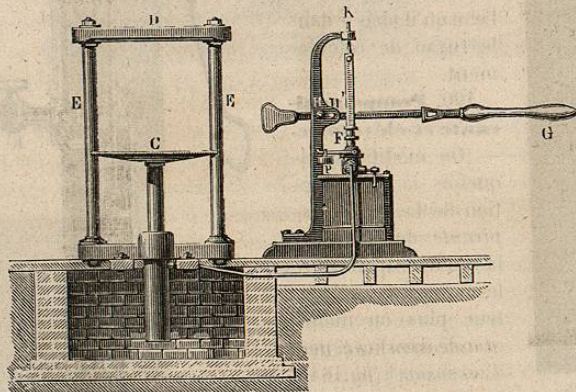


Fig. 166. — Presse hydraulique.

réservoir placé au-dessous, et la refoule, par un tuyau que l'on voit en avant de la figure, dans un gros cylindre qui contient aussi un piston plongeur, surmonté d'un plateau C; au-dessus de ce plateau, est une plate-forme fixe D, invariablement reliée au cylindre par des colonnes

(\*) Pour extraire des mines les eaux qui s'y accumulent, on emploie en général un système de pompes élévatoires, établies à différentes hauteurs dans un puits vertical; chacune d'elles élève l'eau dans une bêche, d'où elle est reprise par la pompe placée immédiatement au-dessus. Les tiges de tous les pistons sont fixées à une même tige verticale, qui s'étend dans toute la hauteur du puits (*maitresse tige*), et qui reçoit son mouvement d'une machine.

Cette disposition rend inutile l'emploi des pistons plongeurs, auxquels il faudrait recourir si l'on voulait élever l'eau, d'un seul jet, à une grande hauteur, au moyen d'une pompe foulante unique; elle permet aussi de n'employer à ce genre de service que des pompes assez grossières, puisque chacune d'elles ne doit élever l'eau qu'à une hauteur peu considérable.

de fonte E, E. Les objets qu'on veut soumettre à l'action de la presse sont placés entre les deux plateaux. — Chaque fois que le piston de la petite pompe descend, l'eau qui est refoulée dans le gros cylindre fait monter le gros piston d'une petite quantité, en sorte que les corps placés entre C et D éprouvent une compression progressive. — La tige du piston de la pompe F se manœuvre au moyen du levier GH', mobile autour du point fixe H; elle est guidée dans son mouvement par l'anneau K. Un homme, en appuyant sur l'extrémité G, produit sur le piston une pression qui est égale à sa propre force multipliée par le rapport du grand bras de levier au petit : la pression développée sur

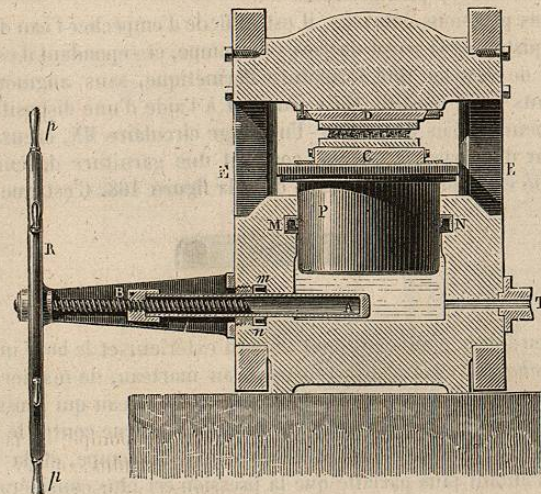


Fig. 167. — Presse hydraulique.

les corps comprimés s'obtient en multipliant encore cette expression par le rapport de la section du gros piston à la section du petit. On conçoit qu'on puisse arriver ainsi à des pressions considérables (\*).

Une modification récente, due à M. Desgoffe, permet d'atteindre des pressions bien plus considérables encore qu'avec les anciens appareils. Cette modification consiste dans l'addition, à la base du gros corps de pompe, d'un cylindre d'acier A (fig. 167), que l'on peut y faire péné-

(\*) Il faut remarquer cependant que l'avantage de cette machine est essentiellement de permettre de vaincre, avec une force motrice relativement petite, une résistance considérable; mais, comme dans toutes les machines qu'on étudie en Mécanique, ce qu'on gagne en *force*, on le dépense en *chemin parcouru*. En effet, si la section du gros piston est égale à 100 fois celle du petit, la quantité dont s'élève le gros piston, pour chaque mouvement de descente du petit, est 100 fois moindre; le *travail résistant* est donc égal au *travail moteur*.

trer au moyen d'une vis; cette vis elle-même est mise en mouvement par la roue R, que l'on manœuvre à l'aide de poignées *p.p.* Le cylindre A est creux, et porte un écrou B dans lequel s'engage le pas de la vis. — Tant qu'on fait fonctionner la petite pompe, qui refoule l'eau dans le gros corps de pompe par le tuyau T, on laisse le cylindre A dans une position telle qu'il pénètre à peine dans ce corps de pompe. Lorsque la pression a acquis une valeur telle que la pompe foulante ne puisse plus fonctionner, on manœuvre la vis V de façon à faire pénétrer le cylindre A autant que possible : le piston P continue encore à s'élever, et on parvient ainsi à exercer, entre les plateaux C et D, des pressions beaucoup plus grandes.

Sous ces pressions énormes, il est difficile d'empêcher l'eau de filtrer entre le piston et la paroi du corps de pompe, et cependant il est indispensable de réaliser une fermeture hermétique, sans augmenter les frottements outre mesure. On y parvient à l'aide d'une disposition due à l'ingénieur anglais Bramah. — Une gorge circulaire MN, creusée dans l'épaisseur du corps de pompe, contient une garniture de cuir, dont une moitié est représentée à part dans la figure 168. C'est une plaque



Fig. 168.

de cuir, en forme d'anneau, dont le bord extérieur et le bord intérieur ont été *emboutis*, c'est-à-dire repoussés au marteau, de manière à lui donner la forme d'une sorte de rigole renversée. L'eau qui presse dans la concavité de cette rigole applique son bord interne contre le piston, son bord externe contre la paroi du corps de pompe, et la fermeture est d'autant plus parfaite que la pression est plus considérable (\*).

La presse hydraulique reçoit de nombreuses applications dans l'industrie. Elle est employée pour extraire les huiles de diverses graines; pour exprimer le suc de la betterave; on l'emploie également dans la fabrication des bougies, du papier, du vermicelle, etc.

(\*) Pour éviter de dépasser la limite de pression compatible avec la résistance de l'appareil, on dispose, près de la pompe F (fig. 166), une soupape de sûreté, représentée à part dans la figure 169. Un petit bouchon métallique O, de forme conique, placé au-dessus du canal par lequel l'eau se rend au corps de pompe, intercepte un canal latéral (figuré à gauche), par lequel l'eau pourrait s'écouler au dehors : il supporte, sur sa tête, la pression produite par un levier chargé d'un poids P à son extrémité. La grandeur de ce poids et sa position sur le levier sont calculées de manière que la soupape Q cède à la pression du liquide, lorsque cette pression atteint une limite déterminée.

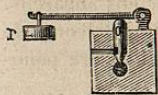


Fig. 169.

## III. — SIPHON, VASE DE MARIOTTE.

192. **Siphon.** — Le siphon est un tube formé de deux branches d'inégales longueurs, et destiné au transvasement des liquides.

Pour qu'un siphon puisse fonctionner, il faut d'abord qu'il soit *amorcé*, c'est-à-dire que le tube *ABB'A'* (fig. 170), plongeant par ses extrémités dans deux vases *MN, M'N'* remplis d'un même liquide, soit lui-même rempli de ce liquide. — Admettons, pour un instant, qu'il existe en *mn* une cloison solide fixée aux parois du tube, à une distance *z* de *MN*.

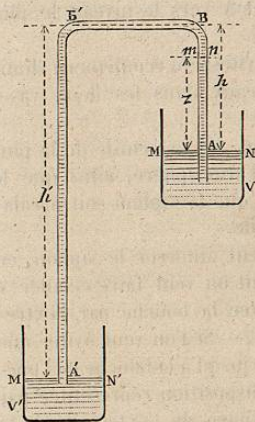


Fig. 170.

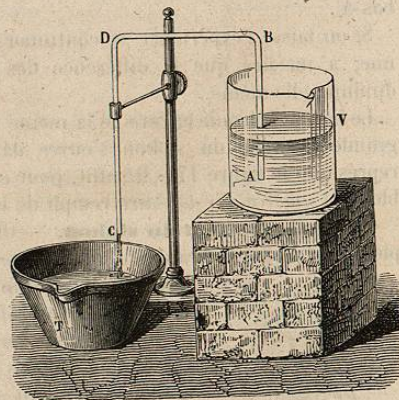


Fig. 171.

à une distance  $z'$  de  $M'N'$ . Nous pourrions assimiler les deux branches du siphon à deux éprouvettes  $Amn, A'B'mn$ , remplies du même liquide, et retournées sur deux cuvettes  $V$  et  $V'$ . Pour que le liquide reste suspendu dans les éprouvettes, il faut que les distances verticales  $z$  et  $z'$  soient l'une et l'autre moindres que la hauteur  $H$  du liquide qui ferait équilibre à la pression atmosphérique. S'il en était autrement, le liquide descendrait dans les deux branches et resterait suspendu dans chaque branche à une hauteur  $H$  au-dessus du niveau de la cuvette. — Or les plus grandes valeurs de  $z$  et de  $z'$  sont  $h$  et  $h'$ , distances verticales des deux surfaces libres  $MN$  et  $M'N'$  au point le plus élevé du tube. Pour que le siphon *reste amorcé*, il faut donc que les hauteurs verticales des deux branches soient plus petites que la hauteur  $H$  de la colonne de liquide à transvaser, qui ferait équilibre à la pression atmosphérique. Cette condition étant supposée remplie, la pression que supporte la

cloison  $mn$  de bas en haut, eu égard à la pression atmosphérique qui s'exerce en  $MN$ , sera exprimée par  $H - z$ ; la pression que supporte la cloison de haut en bas est plus petite; eu égard à la pression atmosphérique qui s'exerce en  $M'N'$ , elle est exprimée par  $H - z'$ ; et la différence de ces pressions est  $z' - z = h' - h$ .

Les valeurs de ces pressions ne sont pas modifiées, si la cloison n'est pas adhérente aux parois du tube; la cloison est donc sollicitée à se mouvoir, de  $A$  en  $A'$ , par une force proportionnelle à la différence des niveaux dans les deux vases  $V$  et  $V'$ . Ce résultat étant indépendant de la valeur de  $z$ , toutes les tranches sont sollicitées à se mouvoir dans le même sens, par des pressions dont la valeur est la même. Donc l'équilibre ne peut exister; l'expérience montre, en effet, que le liquide se met en mouvement du niveau le plus haut  $A$  vers le niveau le plus bas  $A'$ .

Si on laisse l'expérience se continuer, la vitesse d'écoulement diminue, à mesure que la différence des niveaux dans les deux vases diminue elle-même.

Le liquide s'écoule encore de la même façon, si l'extrémité de la plus grande branche du siphon s'ouvre dans l'atmosphère, ainsi que le représente la figure 171. Il suffit, pour cela, que le siphon soit préalablement amorcé, c'est-à-dire rempli de liquide.

193. **Amorçement du siphon.** — On peut amorcer le siphon, en plongeant la petite branche dans le vase dont on veut faire écouler le liquide, et aspirant avec la bouche par l'extrémité de l'autre branche. — Si l'on veut éviter que le liquide puisse arriver jusqu'à la bouche de l'opérateur, on emploie la disposition représentée par la figure 172. Au voisinage de l'extrémité de la grande branche, est soudé un tube ascendant  $am$ : on plonge l'extrémité  $A$  dans le liquide, et l'on aspire par l'ouverture  $m$ , en bouchant avec le doigt l'extrémité  $C$ . Dès que le liquide arrive en  $a$ , on retire le doigt et l'on cesse d'aspirer. Tout se passe alors comme si la branche  $BC$  se terminait

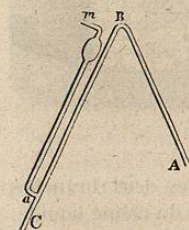


Fig. 172.

en  $a$ , puisque la pression de l'atmosphère s'exerce en ce point par le tube  $ma$ .

La disposition suivante peut encore être employée. Un siphon  $ABC$  (fig. 173) passe au travers d'un bouchon, qui ferme hermétiquement le vase contenant le liquide. Un tube  $T$  pénètre également au travers du bouchon et vient s'ouvrir à la partie supérieure du vase. — On comprime avec la bouche, par le tube  $T$ , l'air qui presse sur la surface libre  $MN$ , jusqu'à ce que le liquide, s'élevant dans la petite branche du siphon, descende ensuite dans la grande branche jusqu'au-dessous du plan horizontal mené par  $MN$ : on peut alors retirer la bouche, et

l'écoulement continue sous l'action de la pression atmosphérique. — Pour arrêter l'écoulement, il suffit d'aspirer par le tube  $T$  jusqu'à ce que le liquide remonte, dans la grande branche, au-dessus du plan horizontal mené par  $MN$ . — Cette disposition permet donc de produire ou d'arrêter à volonté l'écoulement, en laissant le siphon installé jusqu'à ce que le vase soit vide.

194. **Vase de Tantale.** — Le siphon permet d'obtenir un écoulement intermittent, en employant la disposition connue sous le nom de *vase de Tantale*. — Un vase (fig. 174), percé d'une ouverture à sa partie inférieure, contient un siphon, dont la grande branche est

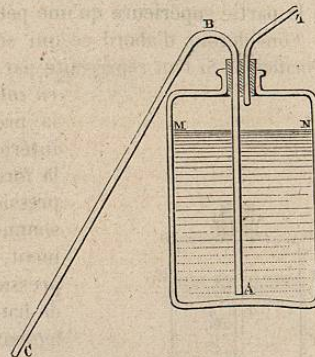
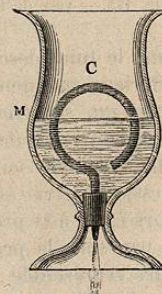


Fig. 173.

assujettie dans un bouchon qui ferme cette ouverture. Lorsqu'on verse de l'eau dans le vase, elle pénètre successivement dans la branche de droite, où son niveau est d'abord dans le même plan horizontal qu'à l'extérieur; puis, au moment où le niveau dans le vase atteint le sommet  $C$  de la courbure, l'eau passe dans la branche de gauche, qu'elle remplit dans toute sa longueur: l'écoulement continue, jusqu'à ce que le niveau  $MN$  de l'eau se soit abaissé au-dessous de l'extrémité de la petite branche. — Si le vase est alimenté, à sa partie supérieure, par un robinet ayant un débit continu, mais moindre que celui du siphon, on obtiendra un écoulement intermittent et périodique, le vase ne se remplissant jamais plus haut que la courbure  $C$  du siphon.

Fig. 174.  
Vase de Tantale.

195. **Vase de Mariotte.** — En général, quand un liquide s'écoule par une ouverture pratiquée dans un vase, la vitesse d'écoulement diminue d'une manière progressive, parce que la pression du liquide, au niveau de l'ouverture, va en diminuant avec la hauteur de sa surface libre au-dessus de ce point. — On donne le nom de *Vase de Mariotte* à une disposition qui est destinée à rendre la vitesse d'écoulement constante.

Soit un flacon  $C$  (fig. 175), percé vers sa partie inférieure d'une ouverture  $A$  assez petite pour ne laisser passage qu'à un mince filet de liquide: le col du flacon est fermé par un bouchon, traversé par un tube  $T$  dont l'extrémité inférieure  $B$  est à une certaine distance verticale  $b$  au-dessus de l'ouverture  $A$ . Supposons que, l'ouverture  $A$  étant

fermée, on ait rempli le vase presque complètement d'eau, jusqu'à une hauteur  $d$  au-dessus de l'extrémité B du tube, de manière à ne laisser à la partie supérieure qu'une petite quantité d'air.

Considérons d'abord ce qui se passe au moment où l'on débouche l'orifice A. Si l'on représente par  $H$  la pression atmosphérique évaluée en colonne d'eau, on voit que, au point A, la pression extérieure est  $H$ ; la pression intérieure est représentée par la somme de la force élastique de l'air intérieur et de la pression du liquide au-dessus de A : cette somme est  $H + d + b$ . Dès lors, à ce moment, l'eau s'écoule par l'orifice, sous une pression représentée par une colonne d'eau de hauteur  $d + b$ . — Mais, dès que cet écoulement se produit, le volume de l'air enfermé dans le flacon augmente; par suite, sa force élastique diminue, et l'on voit le niveau de l'eau s'abaisser rapidement à l'intérieur du tube T, sous l'action de la pression atmosphérique qui s'exerce dans ce tube. Il arrive, très promptement, que le niveau du liquide

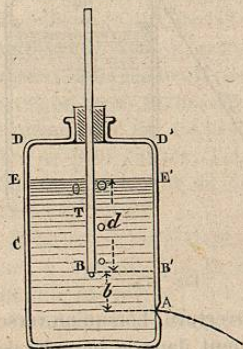


Fig. 175. — Vase de Mariotte.

dans le tube descend jusqu'à l'extrémité inférieure B, et alors l'air extérieur commence à pénétrer par cette extrémité, sous forme de bulles qui se rendent à la partie supérieure du flacon. — A partir de ce moment, la vitesse d'écoulement par l'orifice A devient constante. En effet, quel que soit l'abaissement progressif de la surface libre EE', la pression exercée sur les divers points du plan horizontal BB' reste toujours égale à la pression atmosphérique  $H$ , qui s'exerce directement en B; par suite la pression intérieure, au niveau de l'orifice A, est toujours représentée par  $H + b$ . En d'autres termes, la pression qui détermine l'écoulement est toujours représentée par une colonne d'eau de hauteur  $b$ .

Il en est ainsi tant que le niveau EE' de la surface libre dans le flacon n'est pas descendu au-dessous de l'extrémité B du tube; et en effet, si l'on observe la distance à laquelle arrive le jet sur un plan horizontal, on constate qu'elle reste constante. — C'est cette période de l'écoulement qu'on utilise dans les applications.

## LIVRE DEUXIÈME

### CHALEUR

#### CHAPITRE PREMIER

##### DILATATION

###### I. — DILATATION DES CORPS PAR LA CHALEUR.

196. **Accroissement de longueur des barres solides sous l'action de la chaleur.** — Tous les corps, sauf quelques rares exceptions, éprouvent, quand on les chauffe, un accroissement dans leurs diverses dimensions. C'est le phénomène désigné sous le nom général de *dilatation*. — Nous allons constater d'abord que les corps solides, pris sous la forme de barres, s'allongent quand on les chauffe.

Le *pyromètre à talon*, tel que le représente la figure 176, comprend deux barres métalliques dont la longueur est telle, que, à la température ordinaire, elles pénètrent exactement dans des encoches qui sont pratiquées dans des talons de métal T, T', fixés sur une planche MN. Lorsqu'on chauffe une de ces barres sur un fourneau, et qu'on la replace sur l'appareil, on constate que sa longueur est devenue trop grande pour qu'elle puisse pénétrer dans les encoches. — Elle y retombe d'elle-même, quand on la laisse refroidir jusqu'à la température ordinaire.

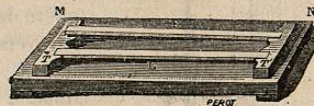


Fig. 176. — Pyromètre à talon.

Le *pyromètre à levier* (fig. 177) permet d'apprécier mieux encore les variations progressives de longueur qu'éprouve une tige, lorsqu'on fait varier sa température. — Une tige métallique AB traverse deux colonnes C et C'; elle est fixée en A au moyen d'une vis, passe librement dans