

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

182. Effort à développer. — On verra, en raisonnant comme dans le cas précédent : 1° que l'effort à développer pour faire monter le piston est nul, si l'on néglige les frottements ; 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 cette différence essentielle, que la pompe aspirante ne peut élever l'eau que jusqu'à une hauteur limitée (178), 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'ajustement plus ou moins parfait de ses pièces mobiles.

183. Travail, par coup de piston. — On démontrerait, comme pour la pompe aspirante (180), et en adoptant les mêmes notations, que le travail par coup de piston est exprimé par le produit $shg \times l$.

L'accroissement d'énergie potentielle de la masse d'eau élevée est représenté par le produit $slg \times h$; il est égal au travail dépensé.

184. Pompe à incendie. — La pompe à incendie (fig. 141) n'est autre chose qu'un système de deux corps de pompes accouplés, et placés dans une bêche remplie d'eau. 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

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.

(*) Dans la pompe foulante, le levier est du *second genre*, c'est-à-dire que 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.

la partie inférieure de ce réservoir. C'est alors la force élastique de l'air comprimé dans le réservoir *e* qui fait monter l'eau dans le tuyau

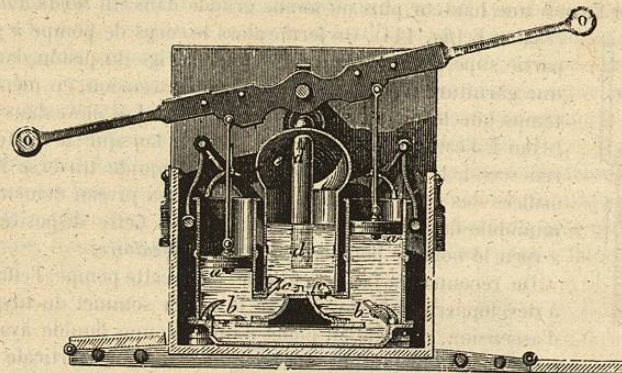


Fig. 141. — Pompe à incendie.

de refoulement. On obtient ainsi un jet *sensiblement régulier*, par le tube de cuivre ou *lance*, qui termine ce tuyau.

185. Pompe aspirante et foulante. — La pompe aspirante et foulante (fig. 142) est une combinaison de la pompe aspirante et de la pompe foulante. Elle se compose d'un tuyau d'aspiration *T*, d'un corps de pompe muni d'un piston plein *P*, et d'un tuyau de refoulement *R*, qui prend naissance à la base du corps de pompe. — Quand le piston monte, l'eau arrive par aspiration dans le corps de pompe ; quand le piston descend, l'eau est refoulée dans le tuyau *R*. Le jeu des soupapes se comprend immédiatement, d'après ce qui a été dit dans les cas précédents.



Fig. 142.

Pompe aspirante et foulante.

Nous ferons remarquer enfin que, pour peu que le tuyau du refoulement *R* présente une assez grande hauteur, l'eau exerce, sur la face 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. 145) : 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 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.

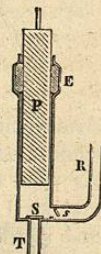


Fig. 145.

Piston plongeur.

186. 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. 144). 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*.



Fig. 144.
Pompe
aspirante
et
élévatoire.

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

187. Presse hydraulique. — Nous retrouvons la pompe aspirante et foulante dans la presse hydraulique, dont nous n'avons indiqué jusqu'ici que le principe (71).

Une petite pompe F (fig. 145), à piston plongeur, puise l'eau dans un réservoir placé au-dessous, et la refoule dans un gros cylindre qui contient aussi un piston plongeur, surmonté d'un plateau C; au-dessus de ce plateau, est une plate-forme D, reliée au cylindre par des colonnes de fonte E, E. Les objets qu'on veut soumettre à l'action de la presse sont placés entre C et D. — Chaque fois que le piston de la

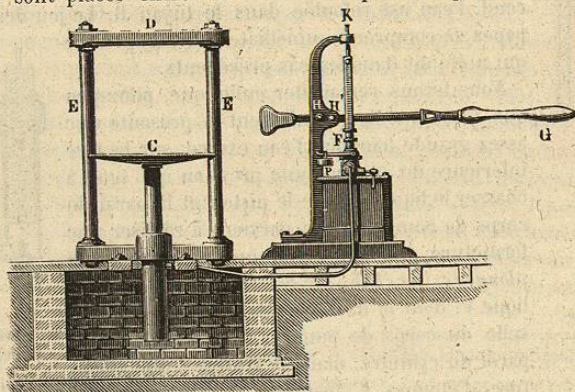


Fig. 145. — Presse hydraulique.

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. — Un homme, en appuyant sur l'extrémité du levier GH', produit sur la surface du petit piston une pression qui est égale à sa propre force multipliée par le rapport du grand bras de levier au petit : la force qui agit sur 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 arrive ainsi à vaincre des résistances 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. 146), que l'on peut y faire péné-

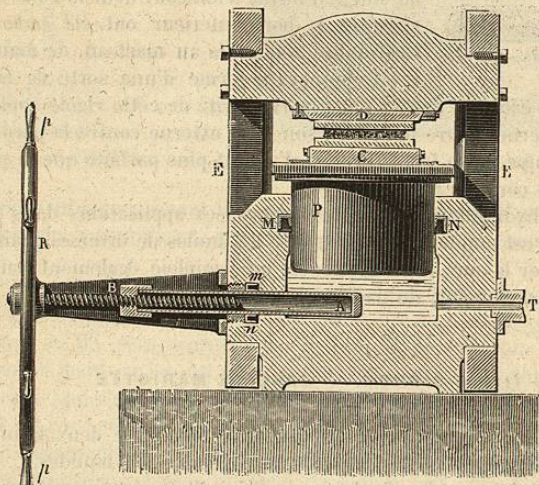


Fig. 146. — Presse hydraulique.

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.

(*) L'avantage de cette machine est 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 hauteur 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*.

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 l'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 147. C'est une plaque



Fig. 147. — Cuir embouti.

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.

III — SIPHON. — VASE DE MARIOTTE

188. 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. 148), 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, à une distance z' de $M'N'$. On pourra 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 verti-

cales 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

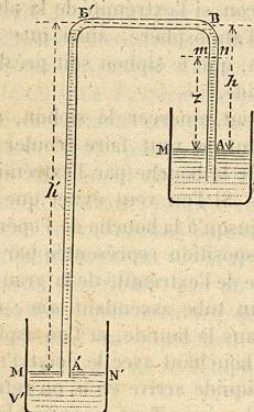


Fig. 148.

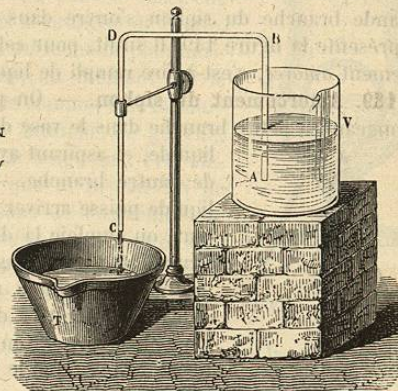


Fig. 149. — Siphon.

des deux branches soient plus petites que la hauteur H de la colonne du 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 $H - z'$. La différence de ces pressions est $z' - z$, ou $h' - h$.

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 dimi-

(*) Dans le cas où l'on aurait $h < H$, et $h' > H$, le siphon ne resterait pas amorcé; le liquide descendrait dans la longue branche, à une hauteur H au-dessus du niveau $M'N'$, laissant ainsi, à la partie supérieure de A'B' un vide barométrique; puis le liquide s'écoulerait de B' dans la longue branche, à travers le vide barométrique; la vitesse d'écoulement serait la même que si la hauteur de la grande branche était exactement H.

nue, à mesure que la différence des niveaux dans les deux vases diminue d'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 149. Il suffit, pour cela, que le siphon soit préalablement *amorcé*, c'est-à-dire rempli de liquide.

189. Amorçage 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 150. 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 en *a*, puisque la pression de l'atmosphère s'exerce en ce point par le tube *ma*.

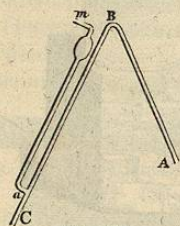


Fig. 150.

La disposition suivante peut encore être employée. Un siphon *ABC* (fig. 151) passe au travers d'un bouchon, qui ferme hermétiquement

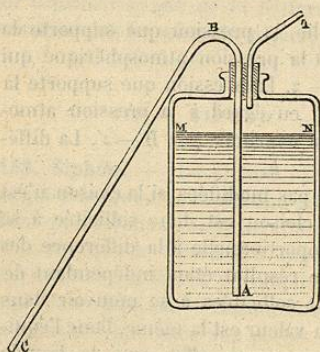


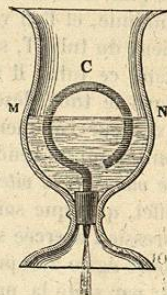
Fig. 151.

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.

190. 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. 152), percé d'une ouverture à sa

partie inférieure, contient un siphon, dont la grande branche est 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. 152.
Vase de Tantale.

191. 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. 153), 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 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.

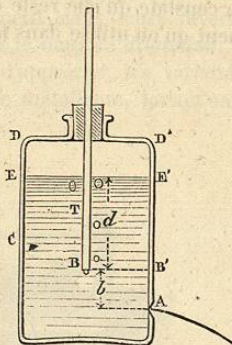


Fig. 153. — Vase de Mariotte.

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 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

DILATATIONS

I. — DILATATION DES CORPS PAR LA CHALEUR.

192. Accroissement de longueur des tiges 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 de *dilatation*.

Le *pyromètre à levier* (fig. 154) permet d'apprécier les variations progressives de longueur qu'éprouve une tige métallique, lorsqu'on la

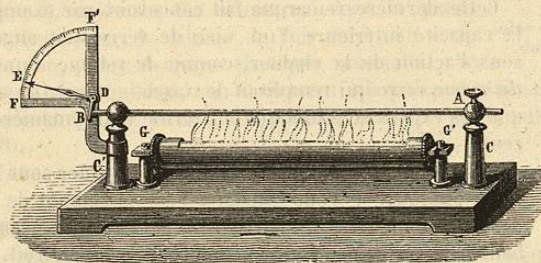


Fig. 154. — Pyromètre à levier.

chauffe. — Une tige métallique AB traverse deux colonnes C et C'; elle est fixée en A au moyen d'une vis, passe librement dans la colonne C', et vient appuyer en B contre la petite branche d'un levier coudé BDE, mobile autour du point D. La grande branche DE de ce levier a la forme d'une aiguille, dont l'extrémité peut parcourir un cadran divisé FF'. — Quand on chauffe la tige, en enflammant de l'alcool placé dans le réservoir GG', la tige s'allonge : comme son extrémité A est fixe, l'autre extrémité se déplace et pousse la branche DB du levier, en la faisant