

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 (*).

190. Presse hydraulique.

Nous retrouvons la pompe aspirante et foulante dans la presse hydraulique, dont nous n'avons indiqué jusqu'ici que le principe (65).

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

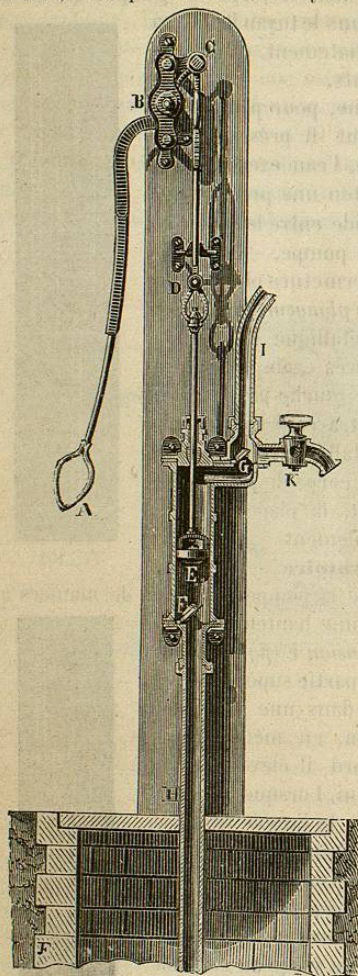


Fig. 165. — Pompe ménagère.

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 les corps comprimés s'obtient en multipliant

(*) 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 bache, d'où elle est reprise par la pompe placée immédiatement au-dessus. Les tiges de tous les pistons sont fixées à une

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 pénétrer

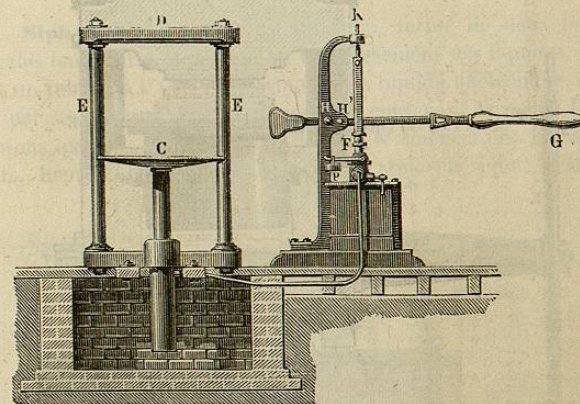


Fig. 166. — Presse hydraulique.

au moyen d'une vis; cette vis elle-même est mise en mouvement par la route 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,

même tige verticale, qui s'étend dans toute la hauteur du puits (*maîtresse 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 ainsi 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.

(*) 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 cent fois celle du petit, la quantité dont s'élève le gros piston, pour chaque mouvement de descente du petit, est cent fois moindre; le *travail résistant* est donc égal au *travail moteur*.

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

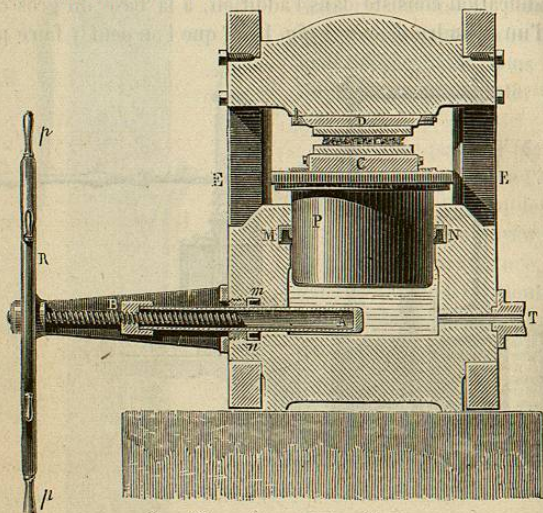


Fig. 137. — Presse hydraulique.

trottements 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 (*).

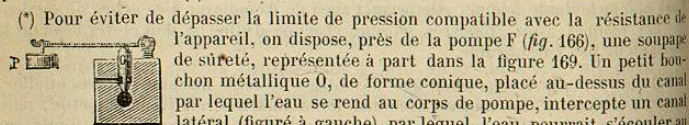


Fig. 169.

(*) 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 O cède à la pression du liquide lorsque cette pression atteint une limite déterminée.

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. — APPAREILS DIVERS.

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

Soit un tube ABB'A' (fig. 170), rempli d'un liquide quelconque, et plongeant par ses extrémités dans deux vases contenant le même liquide : supposons que les surfaces libres MN et M'N' soient à des niveaux différents. Représentons par H la pression atmosphérique, évaluée en

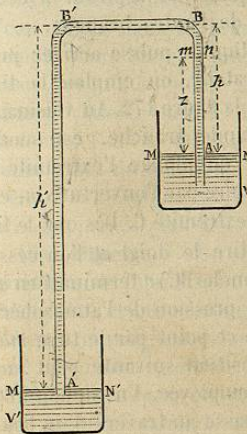


Fig. 170.

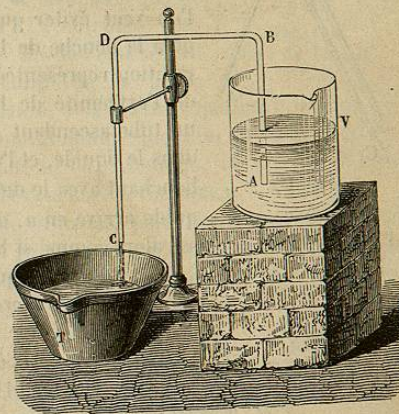


Fig. 171. — Siphon.

colonne du même liquide, pression que nous supposons la même en MN et en M'N'; soient h et h' les distances verticales de ces surfaces au point le plus haut du tube, ces distances étant supposées, l'une et l'autre, moindres que H. — Admettons, pour un instant, que le liquide soit en repos, et prenons une tranche mn du liquide dans le tube BA, à une distance z de MN; la pression exercée sur elle de bas en haut, eu égard à la pression atmosphérique qui s'exerce en MN, sera exprimée par $H - z$; la pression exercée sur cette même tranche, de haut en bas, eu égard à la pression atmosphérique qui s'exerce en M'N', sera $H - h' + h - z$. La tranche mn est donc sollicitée à se mouvoir, de A vers A', par une pression égale à la différence des deux expressions

que nous venons d'obtenir, c'est-à-dire par une pression mesurée par $h' - h$. Ce résultat étant indépendant de la valeur de z , toutes les tranches prises dans le tube sont sollicitées 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.

L'eau 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.

192. 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 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 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

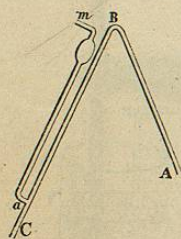


Fig. 172.

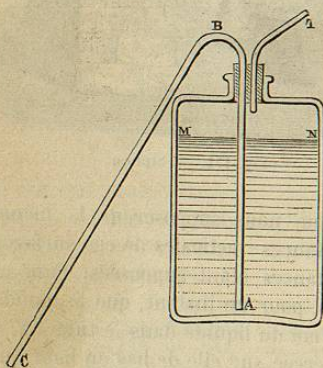
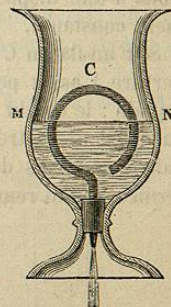


Fig. 173.

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.

193. 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 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.

194. Pipette. — On emploie souvent, pour transvaser de petites quantités de liquides, un petit instrument qu'on désigne sous le nom de *pipette*, et qui se compose simplement d'un tube OC (fig. 175), renflé en son milieu A et terminé à la partie inférieure par un orifice capillaire C.

Supposons que, en plongeant le tube dans l'eau, on l'ait rempli entièrement de liquide; si l'on applique le doigt sur l'extrémité supérieure O, de manière à la fermer exactement, et qu'ensuite on retire la pipette, le liquide y demeure soutenu par la pression atmosphérique (125). Vient-on à enlever le doigt, la pression atmosphérique s'exerce aux deux extrémités de la colonne, et le liquide s'écoule en vertu de son poids. Si l'on ferme de nouveau l'orifice supérieur avec le doigt, il sort encore un peu de liquide; mais, le volume de l'air intérieur augmentant progressivement, sa force élastique diminue aussi d'une manière progressive : il arrive un moment où cette force élastique qui s'exerce en A, ajoutée à la pression de la colonne liquide AC, fait équilibre à la pression atmosphérique; alors, l'écoulement du liquide s'arrête, pour reprendre quand on enlèvera de nouveau le doigt, et ainsi de suite.

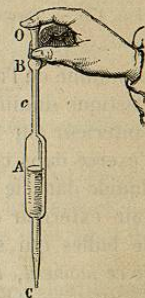


Fig. 175. — Pipette.

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. 176), 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.

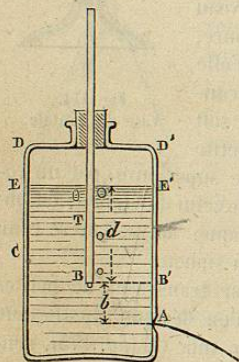


Fig. 176. — Vase de Mariotte.

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.

196. Fontaine intermittente. — On désigne sous le nom de *fontaine intermittente*, un appareil dont la disposition est telle que l'écoulement s'arrête de lui-même, pour recommencer et s'arrêter ensuite, par périodes successives.

Un vase A (fig. 177) contenant de l'eau jusqu'à un niveau MN, et fermé par un bouchon B, est assujéti dans une monture métallique portant à sa partie inférieure de petits orifices a, a , par lesquels l'eau peut s'écouler. Au travers de la monture, pénètre un tube de verre, qui vient s'ouvrir, d'une part en S, à la partie supérieure du vase, d'autre part en T, dans une dépression D, ménagée au centre de la cuvette CC' : au commencement de l'expérience, ce tube met donc en communication la partie supérieure du vase A avec l'atmosphère, et l'écoulement se produit d'abord par les orifices a comme si le vase était ouvert en B. — Mais l'eau qui s'écoule par les orifices a vient se rassembler dans la dépression D; elle ne s'écoule que lentement par l'ouverture E, dont les dimensions sont telles que son débit soit moindre que celui des orifices a : l'eau vient donc bientôt entourer l'extrémité T du tube, et la communication avec l'air extérieur est interceptée. Alors, l'écoulement se continuant par les orifices a , la pression de l'air intérieur diminue, et, en effet, on voit l'eau de la cuvette CC' s'élever progressivement dans le tube.

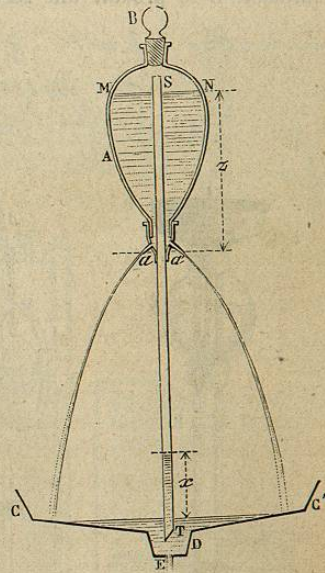


Fig. 177. — Fontaine intermittente.

En même temps, l'écoulement par les orifices a se ralentit; enfin, l'écoulement s'arrête complètement, au moment où la hauteur x dans le tube devient égale à la hauteur z de la surface MN au-dessus de a . — C'est ce dont il est facile de se rendre compte; car, tant que l'eau continue à s'élever dans le tube T, si l'on désigne par H la pression atmosphérique évaluée en colonne d'eau, la force élastique de l'air intérieur est représentée par $H - x$; par suite, la pression intérieure,

au niveau a , est représentée par $H - x + z$. Lorsque x devient égal à z , la pression intérieure en a devient simplement égale à H : elle est donc équilibrée par la pression atmosphérique, et l'écoulement doit être interrompu.

L'écoulement par les orifices a étant arrêté, le niveau de l'eau s'abaisse dans la cuvette cc' , à cause de l'écoulement qui continue à se faire par l'ouverture E : dès que l'extrémité T du tube vient à être dégagée de nouveau, l'air rentre par le tube TS , l'eau que contenait ce tube descend dans la cuvette, et la communication du vase A avec l'atmosphère se trouve ainsi rétablie. — On se retrouve donc dans les conditions initiales. Il se produit une seconde période d'écoulement du liquide

*La condition para que bro
te el agua es de que, el
a gingo de entrada sea
mayor que el de salida*

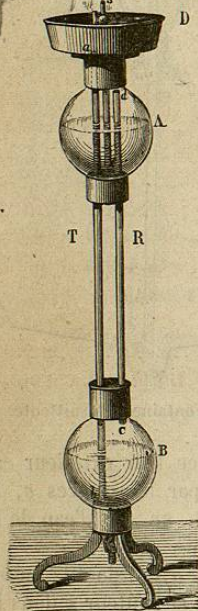


Fig. 178.

Fontaines de Héron.

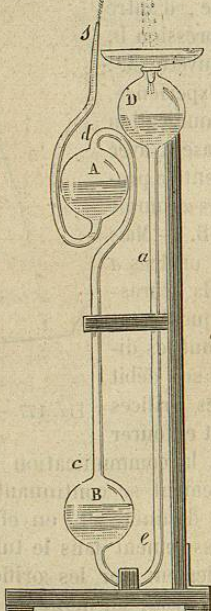


Fig. 179.

par les orifices a : cette seconde période donne lieu aux mêmes remarques que la première, et ainsi de suite.

Certaines sources naturelles présentent, dans leur débit, des périodes d'intermittences qui s'expliquent par la réalisation de conditions analogues à celles qui viennent d'être décrites.

197. Fontaine de Héron. — La disposition qui est connue sous le nom de *fontaine de Héron*, et dont l'idée première remonte à Héron d'Alexandrie, peut être réalisée de diverses manières.

Dans l'appareil représenté par la figure 178, la cuvette D est percée d'une ouverture à laquelle est adapté un tube aTb , qui descend jusqu'à la partie inférieure du réservoir B . L'eau que l'on verse dans la cuvette vient fermer l'extrémité inférieure b de

ce tube, et comprime l'air contenu dans le réservoir B : cet air acquiert donc une force élastique égale à la somme de la pression atmo-

sphérique H (exprimée en colonne d'eau) et de la hauteur h de la colonne contenue dans le tube. C'est cette pression que l'on va utiliser pour produire un jet d'eau. — Pour cela, la partie supérieure du réservoir B est mise en communication, par un tube cRd , avec la partie supérieure d'un autre réservoir A , qui a été à peu près rempli d'eau avant l'expérience : la pression à la surface de cette eau est également $H + h$. L'eau est donc refoulée dans le tube central, qui part de la partie inférieure du réservoir A et se termine par le robinet s : dès qu'on ouvre ce robinet, l'eau jaillit jusqu'à une hauteur égale à h , au-dessus du niveau en A .

A mesure que l'écoulement continue, le niveau de l'eau s'élève en B , la hauteur h du liquide dans le tube aTb diminue ; en même temps, le niveau en A s'abaisse ; pour ces deux raisons, la hauteur du jet va peu à peu en diminuant. — L'écoulement continue jusqu'à ce que, le liquide de A ayant passé dans la cuvette, et de là en B , le jet d'eau s'arrête : l'air comprimé dans le réservoir A s'échappe alors par l'ouverture s .

La figure 179 indique une autre disposition de la fontaine de Héron. L'appareil est entièrement en verre, sans montures métalliques : les mêmes lettres indiquent les parties qui correspondent à celles de l'appareil de la figure 178.

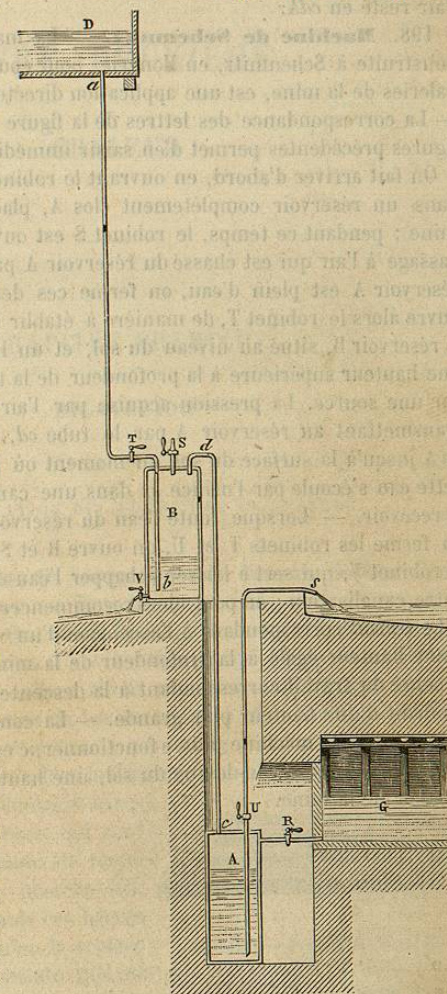


Fig. 180. — Machine de Schemnitz.

pareil précédent. Pour mettre l'appareil en expérience, on commence par remplir d'eau la boule A, en renversant l'appareil; on le redresse ensuite, de manière à introduire la colonne d'eau DaB, qui comprime l'air resté en cdA.

198. **Machine de Schemnitz.** — La machine célèbre qui a été construite à Schemnitz, en Hongrie, pour épuiser l'eau qui envahit les galeries de la mine, est une application directe de la fontaine de Héron. — La correspondance des lettres de la figure 180 avec celles des deux figures précédentes permet d'en saisir immédiatement l'action.

On fait arriver d'abord, en ouvrant le robinet R, l'eau de la galerie G dans un réservoir complètement clos A, placé au fond du puits de mine : pendant ce temps, le robinet S est ouvert, de manière à livrer passage à l'air qui est chassé du réservoir A par un tube cd; lorsque le réservoir A est plein d'eau, on ferme ces deux robinets R et S. On ouvre alors le robinet T, de manière à établir la communication entre le réservoir B, situé au niveau du sol, et un bassin D, qui est situé à une hauteur supérieure à la profondeur de la mine, et qui est alimenté par une source. La pression acquise par l'air dans le réservoir B, se transmettant au réservoir A par le tube cd, suffit pour élever l'eau de A jusqu'à la surface du sol, au moment où l'on ouvre le robinet U : cette eau s'écoule par l'orifice s, dans une canalisation ménagée pour la recevoir. — Lorsque toute l'eau du réservoir A a été ainsi élevée, on ferme les robinets T et U, on ouvre R et S, et on ouvre également le robinet V, qui sert à laisser échapper l'eau du réservoir B dans une autre canalisation; on peut alors recommencer une nouvelle opération.

Le *travail* correspondant à l'ascension d'un volume déterminé d'eau, à une hauteur égale à la profondeur de la mine, est ici produit par la dépense du travail correspondant à la descente d'un volume d'eau égal, tombant d'une hauteur plus grande. — La condition essentielle, pour qu'une pareille machine puisse fonctionner, c'est qu'on puisse disposer d'une source ayant, au-dessus du sol, une hauteur *supérieure* à la profondeur de la mine.

LIVRE DEUXIÈME

CHALEUR

CHAPITRE PREMIER

DILATATION

1. — DILATATION DES CORPS PAR LA CHALEUR.

199. **Accroissement de longueur des barres solides, sous l'action de la chaleur.** — Tous les corps, sauf quelques exceptions très rares, 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 181, 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.

Le *pyromètre à levier* (fig. 182) 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 co-

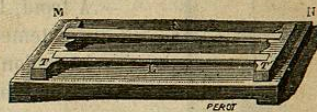


Fig. 181. — Pyromètre à talon.