machine produira à chaque opération un abaissement de pression considérable, surtout si le récipient qu'on veut épuiser n'est pas très grand. — Si, par exemple, il a une capacité de 1 litre, la pression s'abaisse à chaque fois dans le rapport de 1 à 11; s'il était de $0^{m},1$, ce serait le rapport de 1 à 110.

3° On pourrait substituer au mercure un liquide peu volatil, tel que l'acide sulfurique concentré. La machine deviendrait beaucoup moins lourde, beaucoup moins coûteuse, et donnerait un vide sec jusqu'à la limite de la tension de vapeur que possède le liquide, à la température de l'opération.

CHAPITRE VI

APPLICATIONS DE L'ÉLASTICITÉ DES GAZ

—

POMPES DE COMPRESSION. — TROMPES SOUFFLANTES ET ASPIRANTES. APPLICATIONS DE L'AIR COMPRIMÉ.

257. **Machines de compression.** — De même qu'on peut raréfier l'air et tous les gaz dans un récipient grâce à leur expansibilité, de même on peut les y comprimer grâce à leur compressibilité. On pourra ensuite utiliser, comme un ressort métallique, cette masse gazeuse comprimée, qui se détendra, grâce à son élasticité, dès qu'on lui ouvrira une issue.

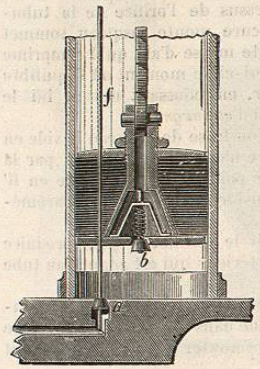

Fig. 285.

La compression de l'air et des gaz s'effectue à l'aide d'instruments spéciaux, appelés *machines* ou *pompes de compression*.

Machine à deux corps de pompe. — Une machine pneumatique ordinaire, dans laquelle le jeu des soupapes serait renversé, pourrait servir de machine de compression. Tandis que dans la machine pneumatique les soupapes s'ouvrent de bas en haut, ici elle s'ouvriraient de haut en bas (fig. 285). La soupape *b* réglerait la communication entre le cylindre et l'atmosphère extérieure (ou le réservoir à gaz); la soupape *a* réglerait celle du cylindre avec le récipient où l'on doit comprimer le gaz. Lorsque le piston monterait, l'air se raréfiant en dessous,

la soupape *a* resterait fermée et la soupape inférieure *b* s'ouvrirait par l'effet de la pression atmosphérique : l'air extérieur entrerait alors, par le conduit extérieur du piston, dans le corps de pompe. Lorsque le piston descendrait, l'air qui est au-dessous se comprimant maintiendrait la soupape *b* fermée, tandis que la soupape *a* s'ouvrant donnerait passage à l'air refoulé, qui se rendrait dans le récipient.

Cette forme de machine à deux corps de pompe a été construite, et se rencontre encore dans les vieilles collections : c'est celle

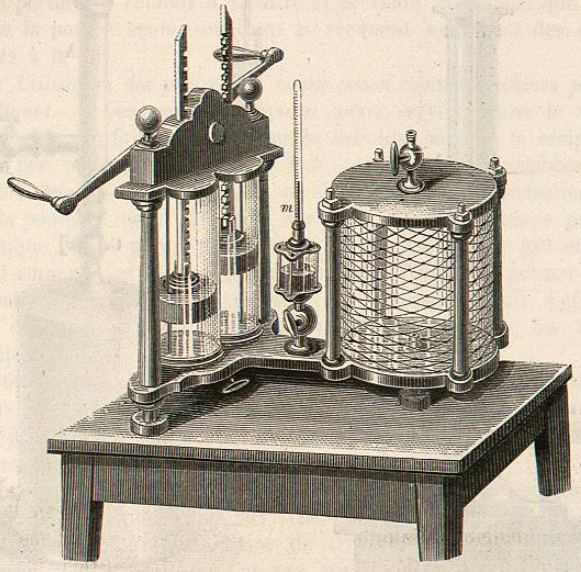

Fig. 286

que représente la figure 286. Elle rappelle extérieurement la machine pneumatique ordinaire : le récipient seul paraît différent ; c'est ici un cylindre en toile métallique solidement serré entre deux platines, par un système de colonnes et d'écrous.

Mais l'appareil ainsi construit est à la fois incommode, volumineux et peu solide. Il a été complètement abandonné et remplacé par des machines à un seul cylindre et à simple effet, dites *pompes de compression*.

258. **Pompe à main.** — C'est la plus simple et la plus commode

des pompes de compression. Elle peut avoir l'une des deux formes indiquées aux figures 287 et 288.

Description. — La *pompe à main* se compose d'un corps de pompe A de petit diamètre (fig. 287), dans lequel on fait mouvoir à la main, au moyen d'une poignée, un piston *plein* (c'est-à-dire sans soupape). Le corps de pompe est muni, à sa base, de deux tubulures horizontales à robinet; dans ces tubulures sont

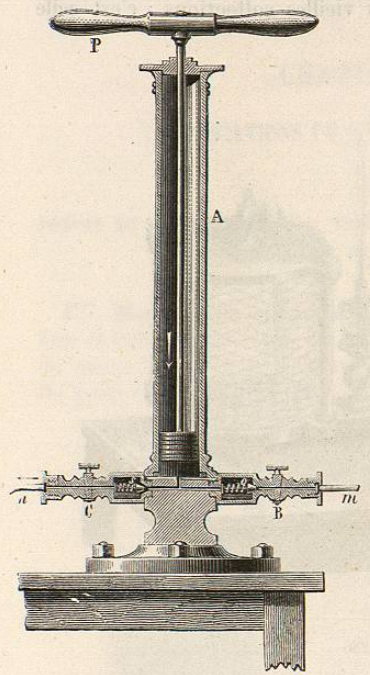

Fig. 287.

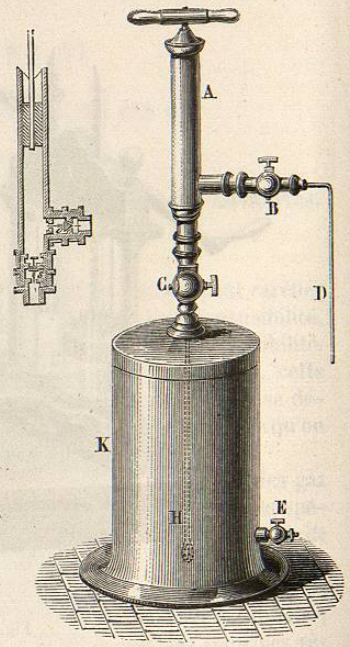

Fig. 288.

deux soupapes *o* et *s*, agissant en sens contraires, pour servir, la première à l'aspiration, la seconde au refoulement. De petits ressorts à boudin appuient sur les soupapes pour les maintenir fermées. Le jeu est entièrement le même que dans la machine de compression précédemment décrite (257).

Usage. — La pompe à main peut servir, par exemple, pour faire dissoudre l'acide carbonique ou tout autre gaz dans l'eau. La soupape de compression *s* est placée à la base du corps de pompe

dans une tubulure verticale C qui se visse directement sur le récipient K (fig. 288), tandis que la soupape d'aspiration est placée dans une tubulure latérale B, qui est mise en communication par le tube D avec le gazomètre à acide carbonique. La pompe aspire ce gaz et le refoule dans le vase K, où il se dissout en quantité d'autant plus grande qu'il est plus comprimé (243, 1°). C'est à l'aide d'appareils analogues que sont fabriquées les eaux gazeuses artificielles.

Remarques. — 1° *Robinets.* — On place maintenant des robinets à trois voies, en B et C, sur les tubulures latérales du cylindre; cela permet de rétablir à volonté la pression atmosphérique soit sous la pompe seule, soit dans le récipient seul, soit des deux côtés à la fois.

2° *Utilisation des pompes de compression comme machines pneumatiques.* — Ces pompes peuvent aussi servir à faire le vide. Pour cela, on fait communiquer la tubulure *m* avec le récipient d'où l'on veut aspirer l'air et la tubulure *n* avec l'atmosphère.

259. **Pompe de Silbermann.** — C'est une forme perfectionnée de la pompe à main. Elle peut servir à volonté de pompe pneumatique ou de pompe de compression. Les figures 289 et 290 font comprendre le jeu de l'appareil. Le robinet R permet soit d'isoler les récipients à gaz du corps de pompe, soit d'établir ou de supprimer la communication directe entre les deux récipients.

260. **Grande pompe de compression.** — Regnault s'est servi, dans ses expériences sur la loi de Mariotte, d'une machine de compression assez puissante pour donner au gaz du réservoir une pression de 30 atmosphères.

Description. — Cette machine se compose de trois pompes Silbermann accouplées (fig. 291). Les tiges des trois pistons sont articulées, par l'intermédiaire de trois *bielles*, à trois portions coudées d'un même axe. Cet axe, muni d'un volant, est mis en mouvement à l'aide d'une ou deux manivelles. Tous les conduits d'aspiration d'une part, et tous les conduits de compression d'autre part, viennent déboucher dans des réservoirs sphériques, lesquels sont reliés directement, l'un avec le gazomètre où l'on puise le gaz, et l'autre avec le récipient où on le comprime. Tout cet appareil est construit comme une machine industrielle et établi sur le sol, où il est solidement boulonné.

Remarque.— Comme on l'a vu précédemment (187), la compression des gaz est accompagnée d'un dégagement de chaleur plus ou moins considérable. C'est là un obstacle très sérieux au fonctionnement de ces machines. La chaleur dégagée altère les garnitures

et peut faire gripper les pistons. On atténue ces inconvénients, dans quelques machines industrielles, en noyant les soupapes inférieures dans un réservoir d'eau à une température constante. On arrive ainsi à comprimer l'air, sans inconvénients, jusqu'à 50 atmosphères.

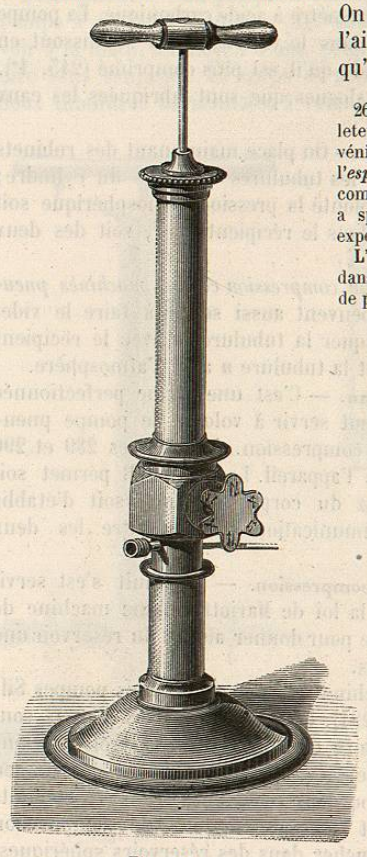

Fig. 289.

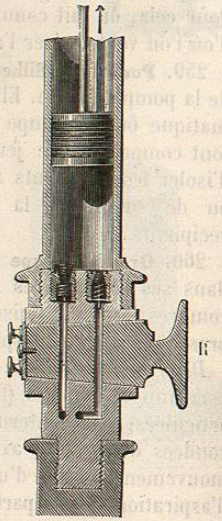

Fig. 290.

261. Pompe Cailletet. — M. Cailletet a supprimé à la fois les inconvénients de l'échauffement et de l'*espace nuisible* dans une pompe de compression *à piston mercuriel*, qu'il a spécialement construite pour ses expériences de liquéfaction des gaz.

L'originalité de cet apparei réside dans la disposition du piston. Le corps de pompe et le piston sont renversés; au-dessus de ce dernier se trouve une couche de mercure, de sorte que, à chaque coup de piston, le mercure vient remplir complètement le fond du corps de pompe (supprimant ainsi tout espace nuisible) et soulever la soupape, qui établit la communication avec le récipient (cette soupape est en ébonite, pour éviter l'altération due à l'action du mercure). Quant à la soupape d'aspiration, elle est supprimée : M. Cailletet l'a remplacée par un robinet, qui s'ouvre et se ferme en temps voulu au moyen d'un système de cames. Enfin le mouvement du piston est produit mécaniquement, à l'aide du mouvement rotatif d'un volant.

Cette pompe permet de comprimer des masses de gaz considérables sous des

pressions de plusieurs centaines d'atmosphères. Elle a servi à M. Cailletet pour liquéfier d'abord l'acide carbonique, le protozyde d'azote et l'éthylène, puis à comprimer les gaz permanents, qu'il a pu liquéfier en joignant à la compression l'action réfrigérante des liquides précédemment obtenus.

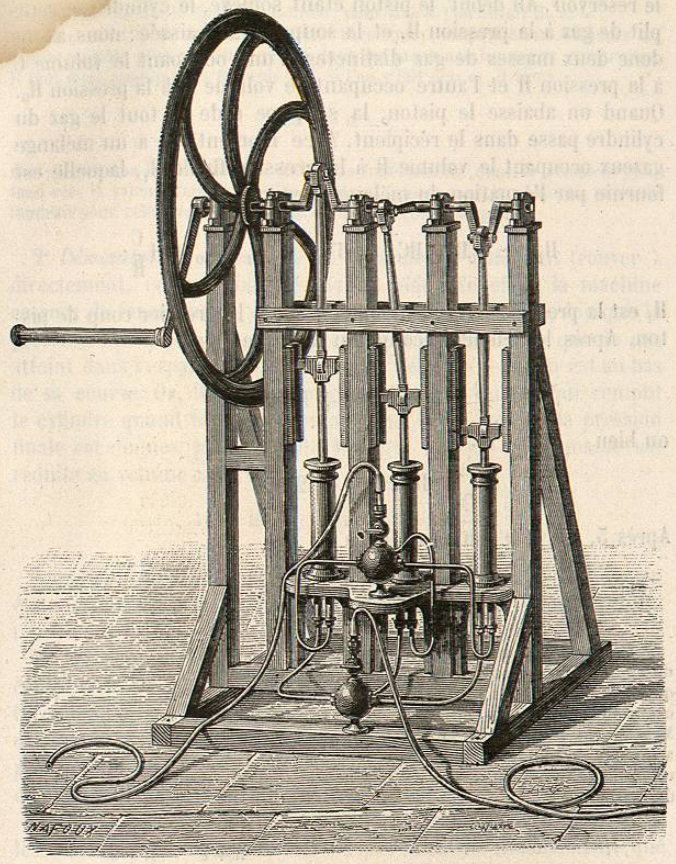

Fig. 291.

262. Théorie des machines de compression. — Quelle que soit la forme de la machine employée, la loi de condensation du gaz est toujours la même. Ici, comme pour la raréfaction, il y a deux cas à considérer : celui où l'on ne tient pas compte de l'espace nuisible — cas purement théorique — et le cas où l'on tient compte de l'espace nuisible, qui est celui de la pratique.

1° *Condensation sans espace nuisible.* — Soit R la capacité du récipient, C la capacité du corps de pompe, H_0 la pression initiale du gaz dans le récipient, et H la pression, *supposée constante*, dans le réservoir. Au début, le piston étant soulevé, le cylindre se remplit de gaz à la pression H, et la soupape est baissée : nous avons donc deux masses de gaz distinctes, l'une occupant le volume C à la pression H et l'autre occupant le volume R à la pression H_0. Quand on abaisse le piston, la soupape cède et tout le gaz du cylindre passe dans le récipient. A ce moment, on a un mélange gazeux occupant le volume R à la pression finale H_1, laquelle est fournie par l'équation du mélange des gaz

$$H_1R = H_0R + HC, \qquad \text{d'où} \qquad H_1 = H_0 + H\frac{C}{R};$$

H_1 est la pression dans le récipient après le premier coup de piston. Après le deuxième coup, on aura de même

$$H_2 = H_1 + H\frac{C}{R},$$

ou bien

$$H_2 = H_0 + 2H\frac{C}{R}$$

Après 3, 4, ... n coups, on aura

$$[1] \qquad H_n = H_0 + nH\frac{C}{R}.$$

2° *Condensation avec l'espace nuisible.* — Soit e l'espace nuisible. Les conditions initiales ne sont pas changées, c'est-à-dire qu'on a toujours au début, quand le piston est au haut de sa course, deux masses de gaz distinctes, l'une occupant le volume R à la pression H_0 et l'autre le volume C à la pression H. Mais lorsque le piston est au bas de sa course, le gaz est réduit au volume R, augmenté du volume e de l'espace nuisible ; on a donc un mélange gazeux occupant le volume total $R + e$ à la pression totale H_1. L'équation du mélange des gaz donne

$$(R + e)H_1 = RH_0 + CH, \qquad \text{d'où} \qquad H_1 = H_0\frac{R}{R+e} + H\frac{C}{R+e}.$$

On peut ainsi calculer les pressions successives $H_1, H_2, \ldots H_n$. On aura une suite d'équations analogues, d'où l'on pourra déduire une relation finale entre H_n, H_0 et les données de l'appareil (*même procédé d'élimination de* H_1, H_2, H_{n-1} *que pour la loi de raréfaction*). On arrivera ainsi à la formule

$$[2] \qquad H_n = H_0\left(\frac{R}{R+e}\right)^n + H\frac{C}{e}\left[1 - \left(\frac{R}{R+e}\right)^n\right].$$

265. Limite de la condensation. — 1° *Formule.* — D'après la formule [1]

il n'y aurait pas de limite à la condensation du gaz dans le récipient. En effet, la pression H_n au bout de n coups de piston est la somme de n termes d'une progression *arithmétique* dont la raison est $\frac{C}{R}H$. Cette somme peut devenir plus grande que toute quantité donnée ; pour $n = \infty$, on aurait $H_n = \infty$.

Mais ce n'est là qu'un cas purement théorique, puisqu'il existe toujours un espace nuisible plus ou moins grand dans les machines les mieux construites. Il faut donc appliquer la formule [2]. Si l'on y fait $n = \infty$, il vient

$$H_n = \frac{C}{e}H = \lambda,$$

c'est-à-dire que la pression ne croît pas indéfiniment dans le récipient ; elle tend vers la valeur limite λ, qu'elle n'atteint jamais dans la pratique, puisqu'il faudrait pour cela donner un nombre infini de coups de piston.

2° *Démonstration directe de la formule.* — On peut trouver λ directement, comme dans le cas du vide. En effet, la machine cessera de fonctionner, par le fait de l'espace nuisible, lorsque la pression finira par atteindre dans le récipient celle que le gaz atteint dans l'espace nuisible, chaque fois que le piston est au bas de sa course. Or, H étant la pression initiale du gaz qui remplit le cylindre quand le piston est au haut de sa course, la pression finale est donnée par la loi de Mariotte lorsque cette masse est réduite au volume e. On a

$$\lambda e = HC, \qquad \text{d'où} \qquad \lambda = H\frac{C}{e}.$$

Lorsque la pression sera devenue λ dans le récipient, la soupape, étant également pressée de part et d'autre, ne s'ouvrira plus, et la machine cessera de fonctionner.

3° *Limite pratique de la condensation.* — Les imperfections de construction empêchent généralement d'atteindre cette limite théorique. Il y a des fuites, qui sont de plus en plus abondantes, et qui finissent par égaler les introductions ; à ce moment, la *limite pratique* est atteinte : on ne gagne plus rien à pomper, on ne fait qu'entretenir la pression maximum.

4° *Remarque générale.* — L'existence de l'espace nuisible dans les machines de compression n'a pas le même inconvénient que dans les machines pneumatiques. Dans celles-ci, en effet, qui ont pour fonction de raréfier l'air *autant que possible*, l'espace nuisible oppose à la raréfaction une limite qu'on peut reculer, mais qu'on ne peut supprimer. Les machines de compression sont destinées au contraire à obtenir une pression plus ou moins grande, mais déterminée. Le constructeur peut donc toujours régler d'avance le rapport de $\frac{C}{e}$ de manière que la limite théorique λ soit plus

élevée que la pression qu'on veut atteindre : dans ce cas, l'*espace nuisible* ne *nuit* pas en réalité à l'effet définitif.

TROMPES ASPIRANTES ET SOUFFLANTES.

264. **Définitions. — Principe.** — Nous avons dit que les machines et pompes de compression peuvent servir tour à tour à comprimer les gaz et à les raréfier. A cette catégorie d'instruments on peut rattacher les *trompes aspirantes* et *soufflantes*. Ce sont des appareils qui *aspirent* l'air dans un récipient pour le *souffler* ou le comprimer dans un autre. Ils fonctionnent en quelque sorte automatiquement, par l'intermédiaire d'un courant d'eau ou d'un autre liquide. Ils sont donc fondés sur un principe complètement différent de celui des pompes pneumatiques.

Considérons un courant liquide qui s'écoule dans un canal de direction quelconque, mais de forme particulière, qui constitue essentiellement la *trompe*. Il est formé par deux cylindres de même rayon qui sont réunis soit par un ajutage cylindrique plus étroit et continu (fig. 292), soit par un ajutage discontinu, composé de deux troncs de cône opposés par leurs petites bases (fig. 293). Supposons que le régime permanent du courant soit établi, c'est-à-dire que la vitesse de l'écoulement, en chaque point du canal, ne dépende que de la position de ce point et soit indépendante du temps. Si le liquide va dans le sens de la flèche, c'est-à-dire de *mn* vers H (fig. 292), de la partie étroite vers la partie renflée, la vitesse du courant est nécessairement moins grande ici que là et subit, par suite, une diminution plus ou moins brusque dans cet intervalle ; or on constate que, en même temps que la

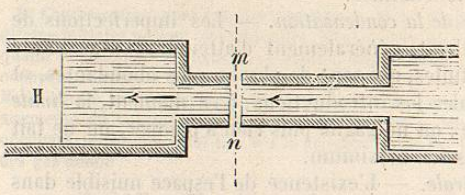

Fig. 292.

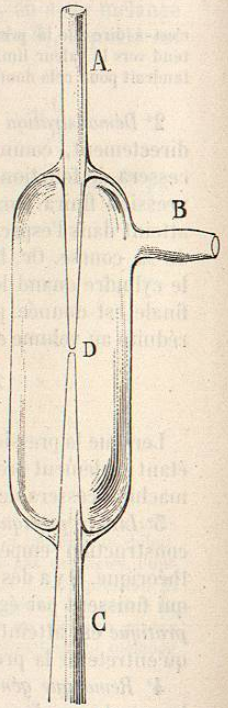

Fig. 293.

vitesse diminue, la pression exercée sur chaque tranche de liquide augmente, de sorte que si le gros bout du canal débouche dans l'atmosphère, où la pression est H, la pression sur une tranche *mn* de la portion étroite est inférieure à H. Si donc on a pratiqué dans l'épaisseur de la paroi des ouvertures *m* et *n*, l'air extérieur sera poussé dans le canal, à cause de la différence des pressions, et entraîné avec le courant liquide.

Par conséquent, *le vide se fera en m*, et si le canal est mis en communication, par cet orifice, avec un récipient à gaz, l'appareil pourra *y faire le vide*. Si le courant d'eau se rend en H dans un récipient fermé, le gaz se dégagera

du liquide qui l'entraîne, et pourra s'accumuler et se comprimer lui-même au-dessus de la surface libre liquide : en H, l'appareil fonctionnera *comme une machine de compression*. Dans l'un et l'autre cas, l'action de la trompe sera lente, mais continue, et elle présentera l'avantage d'être automatique.

Parmi les appareils fondés sur ce principe, nous décrirons :

1° La *petite trompe à eau d'Alvergniat* (à simple effet ou à double effet) ;
2° La *trompe portative de M. Lionet ;*
3° La *trompe à mercure* ou *aspirateur de Sprengel ;*
4° La *machine soufflante* employée dans les laboratoires ou dans les forges pour avoir de l'air comprimé ;
5° La *trompe aspirante et soufflante d'Alvergniat*, modèle simplifié de cette dernière machine, qui est plus ou moins encombrante.

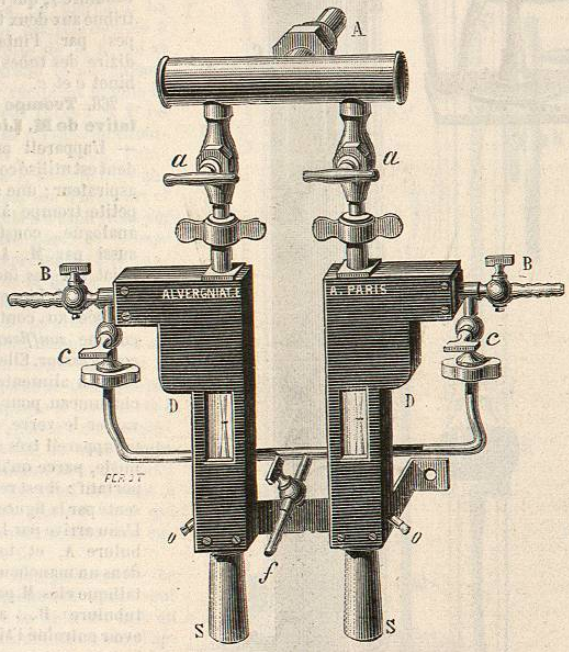

Fig. 294

265. **Petite trompe à eau d'Alvergniat.** — C'est une trompe spécialement destinée à faire rapidement un vide imparfait. L'appareil est entièrement construit en verre (fig. 293). La tubulure A est adaptée directement à un robinet de fontaine : l'écoulement prend un régime permanent; l'eau passe de l'ajutage conique A à l'ajutage conique D : l'aspiration se produit au point D, et l'appel d'air se fait de l'extérieur par la tubulure B. Si cette tubulure est adaptée à un récipient plein de gaz, on y fait rapidement le vide, jusqu'à une pression au plus égale à la tension maximum qu'a la vapeur d'eau à la température ambiante; mais on voit qu'on n'obtient pas ainsi un *vide sec*.

Trompe à double effet. — La figure 294 représente le même appareil enveloppé d'une garniture protectrice en fer. Il y a deux trompes accouplées, de manière à constituer une sorte de machine à double effet.

L'eau d'une fontaine quelconque arrive directement par la tubulure A dans une sorte de distributeur, d'où elle tombe à la fois dans les deux trompes par les tubulures à robinet *a* et *a*. L'air (ou le gaz) est aspiré, soit dans deux récipients distincts par les tubes B et B, soit dans un même récipient par la tubulure *f*, qui le distribue aux deux trompes par l'intermédiaire des tubes à robinet *c* et *c*.

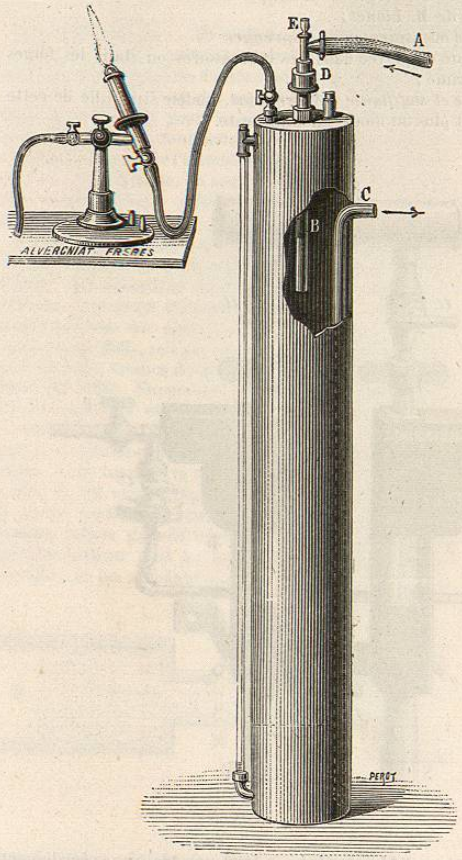

Fig. 295.

266. **Trompe portative de M. Lionet.** — L'appareil précédent est utilisé comme aspirateur ; une autre petite trompe à eau analogue, construite aussi par M. Alvergniat sur les indications de M. Lionet, est utilisée au contraire comme *souffleur* ou *compresseur*. Elle peut servir à alimenter un chalumeau pour travailler le verre. C'est un appareil très commode, parce qu'il est portatif : il est représenté par la figure 295. L'eau arrive par la tubulure A, et tombe dans un manchon métallique clos M par la tubulure B, après avoir entraîné l'air extérieur par un orifice latéral D pratiqué sur son passage. L'air entraîné par l'eau s'en sépare en B et monte au sommet du cylindre, où il s'accumule et se comprime. Cet air comprimé a deux effets : d'un côté, il pousse à l'extérieur, par le tube abducteur C, l'eau qui s'accumule au fond du manchon et finirait par le remplir ; d'autre part, il peut servir à alimenter par le tube *t* un chalumeau H.

267. **Aspirateur de Sprengel : pompe-trompe d'Alvergniat.** — L'aspirateur de Sprengel est le type des trompes à mercure. La figure 296 représente

le modèle le plus récent et le plus perfectionné d'aspirateur, construit par MM. Alvergniat, sous le nom de *pompe-trompe à mercure*.

Description. — L'appareil est tout en verre. Il se compose d'une machine ou pompe à mercure ordinaire accouplée avec un aspirateur à six chutes de mercure. La *pompe* est représentée à la droite de la figure et comprend le mécanisme M, le récipient mobile R, les deux tubes T et T' reliés par un tube en caoutchouc, et enfin l'ampoule A, avec le tube abducteur *mn* d'une part et es tubes d'aspiration *pqf* d'autre part. La *trompe* est représentée à la gauche de la figure, et comprend le récipient mobile R, le gros tube T et le petit tube latéral *ab*, reliés entre eux par le caoutchouc ainsi que par l'ampoule A' à robinets *r* et *r'*, par le tube descendant *cd*, le double tube ascendant *dt* et *dt'*, enfin par les deux trompes à triple chute *t* et *t'* qui viennent aboutir à la cuvette C.

2° *Manipulation.* — Le récipient où l'on veut faire le vide est mis en communication avec l'appareil par le tube latéral *f*. On commence le vide à l'aide de la pompe proprement dite ; on l'achèvera ensuite à l'aide de la trompe.

Pour faire fonctionner la pompe seule, on tourne le robinet à trois voies *r* de manière à intercepter toute communication entre le tube T' d'une part

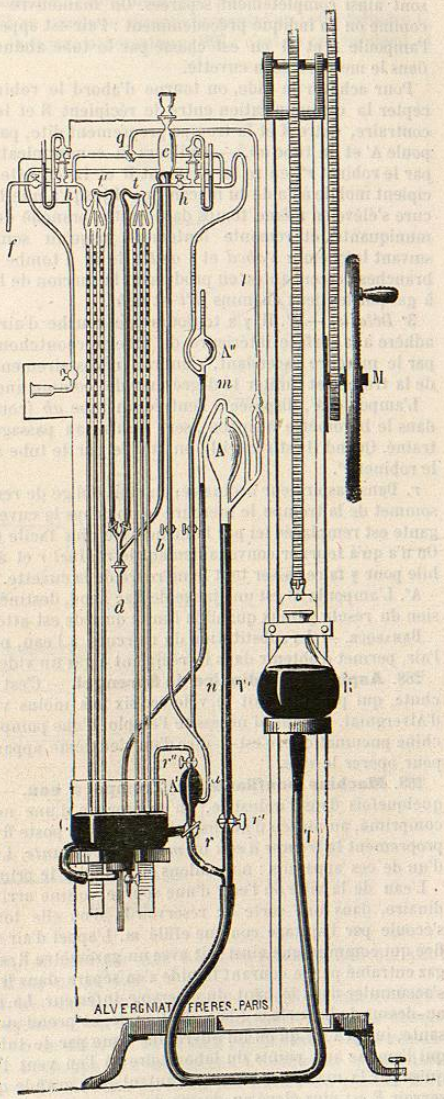

Fig. 296.

et la cuvette ainsi que le tube *ab* d'autre part. Les deux parties de l'appareil sont ainsi complètement séparées. On manœuvre alors la pompe à mercure comme on l'a indiqué précédemment : l'air est appelé par les tubes *f*, *q*, *p* dans l'ampoule A et il en est chassé par le tube abducteur *mn*, lequel débouche dans le mercure de la cuvette.

Pour achever le vide, on tourne d'abord le robinet *r*, de manière à intercepter la communication entre le récipient R et le tube T′ et à l'établir, au contraire, entre R et la trompe proprement dite, par l'intermédiaire de l'ampoule A′ et du tube *ab*. — D'ailleurs la communication est également fermée, par le robinet *r″*, entre le récipient R et la cuvette. Cela fait, on relève le récipient mobile à l'aide du mécanisme M jusqu'à une hauteur suffisante : le mercure s'élève en même temps dans l'autre branche de ce système de vases communiquants, et remonte lentement jusqu'au sommet *tt′* des trompes, en suivant le chemin A′*abcd* et *t* ou *t′* : de là il tombe goutte à goutte par les six branches descendantes, en produisant la succion de l'air qui arrive du récipient à gaz par les deux chemins *fh′t′* et *fh′ht*.

3° *Détails.* — A′. Il y a toujours une couche d'air plus ou moins épaisse qui adhère à la surface intérieure du tube en caoutchouc. Cet air, étant entraîné par le mercure ascendant, viendrait nécessairement gêner le fonctionnement de la trompe et limiter le degré du vide, comme une espèce d'espace nuisible.

L'ampoule A′, disposée à l'entrée du tube *ab* (comme l'ampoule de Bunsen dans le baromètre à siphon), sert à saisir au passage et à recueillir l'air entraîné. Quand il est recueilli, on la vide par le tube abducteur que commande le robinet *r″*.

r. Dans l'aspirateur ordinaire, on était obligé de remonter à la main jusqu'au sommet de la trompe le mercure tombé dans la cuvette. Cette manœuvre fatigante est remplacée ici par la manœuvre plus facile de la pompe d'Alvergniat. On n'a qu'à tourner convenablement le *robinet r* et à abaisser le récipient mobile pour y faire passer tout le mercure de la cuvette.

A″. L'ampoule A″ est une jauge de Mac Leod, destinée à mesurer la faible tension du résidu gazeux quand la limite du vide est atteinte.

Remarque. — La substitution du mercure à l'eau, pour opérer la succion de l'air, permet d'obtenir dans le récipient à gaz un vide absolument sec.

268. **Aspirateur ordinaire de Sprengel.** — C'est un aspirateur à une seule chute, qui par suite fait le vide sec six fois moins vite que la pompe-trompe d'Alvergniat. De plus, il nécessite l'emploi d'une pompe à mercure ou autre machine pneumatique, c'est-à-dire d'un deuxième appareil distinct de la trompe pour opérer le vide.

269. **Machine soufflante** ou **Trompe à eau.** — Dans les laboratoires et quelquefois dans l'industrie, on se procure d'une manière continue de l'air comprimé, au moyen d'un dispositif installé à poste fixe : c'est ce qu'on appelle proprement la *trompe à eau* ou *machine soufflante*. La figure 297 est le schéma d'un de ces appareils : nous allons en indiquer le principe.

L'eau de la ville ou l'eau d'une source voisine arrive, par une conduite ordinaire, dans une sorte de réservoir E, d'où elle tombe dans le tube E*m* et s'écoule par l'ajutage conique effilé *m*. L'appel d'air se fait en *m*, par un orifice qui communique ainsi soit avec un gazomètre R, soit avec l'atmosphère. Le gaz entraîné par le courant liquide s'en sépare dans le réservoir à eau M, et va s'accumuler dans le haut du réservoir inférieur. Là il se comprime lui-même au-dessus de la surface libre du liquide, et prend une force élastique croissante, jusqu'à ce qu'on lui ouvre une issue par le tube abducteur à robinet R′ qui l'amène aux points du laboratoire où l'on veut l'utiliser. La pression acquise par la masse gazeuse est d'autant plus grande que le niveau dans le réservoir E est plus élevé au-dessus du niveau dans le réservoir inférieur.

270. **Trompe aspirante et soufflante d'Alvergniat.** — Depuis peu de

temps, M. Alvergniat construit un appareil portatif, qui peut rendre les mêmes services que la grande trompe des laboratoires (fig. 298).

Description. — L'appareil se compose essentiellement d'un petit cylindre G, qui réalise le réservoir de la figure schématique 297 : c'est là que tombent et

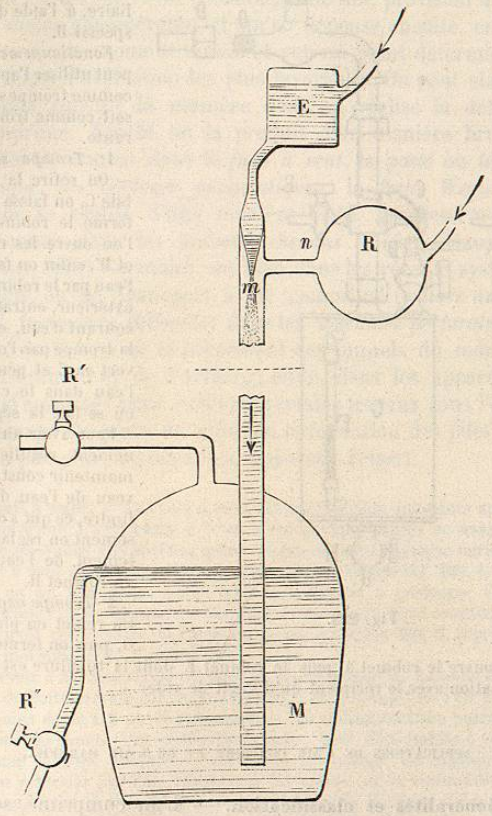

Fig. 297.

s'accumulent l'air et l'eau, amenés par une tubulure verticale BAO qui peut s'adapter à une conduite d'eau de la ville.

Au bas du cylindre se trouve une tubulure à robinet H, qui permet de régler l'écoulement de l'eau du cylindre; un indicateur de niveau F indique à chaque instant la quantité d'eau accumulée. En haut, en D′, se trouve le tube abducteur, à robinet D′, par où s'échappe l'air comprimé. L'aspiration est produite au niveau du tube en cuivre CE. Ce tube porte en son milieu un robinet E et, sur le côté opposé à ce robinet, une clef mobile C (qui est représentée à part en C) : c'est cette pièce qui constitue la trompe aspirante.

Installation. — On soude une pièce à écrou D sur la conduite d'eau du laboratoire, puis on visse sur celle-ci le robinet A, et on relie la trompe elle-même à ce robinet auxiliaire, à l'aide d'un écrou spécial B.

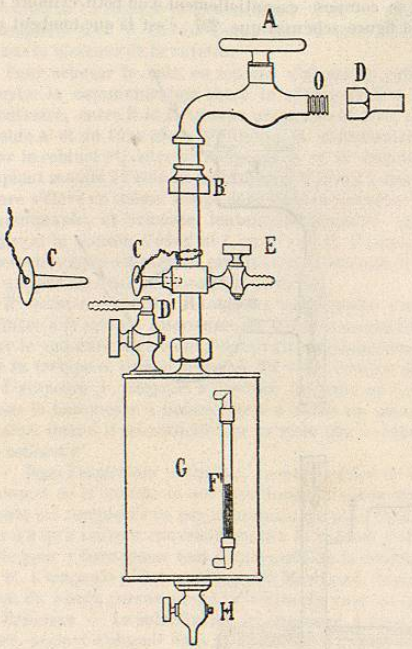

Fig. 298.

Fonctionnement. — On peut utiliser l'appareil soit comme trompe soufflante, soit comme trompe aspirante.

1° *Trompe soufflante.* — On retire la clef mobile C, on laisse ouvert ou fermé le robinet E, puis l'on ouvre les robinets H et D', enfin on fait arriver l'eau par le robinet A. L'air extérieur, entraîné par le courant d'eau, entre dans la trompe par l'orifice ouvert en C et pénètre avec l'eau dans le cylindre G où se fait la séparation.

Pour avoir un fonctionnement régulier, il faut maintenir constant le niveau de l'eau dans le cylindre, ce qui s'obtient aisément en réglant l'écoulement de l'eau à l'aide du robinet H.

2° *Trompe aspirante.* — On remet en place la clef O, puis on ferme le robinet D', on ouvre le robinet A, puis le robinet E dont la tubulure est mise en communication avec le récipient qu'il s'agit de vider.

APPLICATIONS DE L'AIR COMPRIMÉ ET DE L'AIR RARÉFIÉ.

271. **Généralités et classification.** — L'air comprimé, soit employé seul, soit associé à l'air raréfié, a depuis longtemps donné lieu à des applications de plus en plus nombreuses et intéressantes. Les plus anciennes sont les pompes, les siphons, les fontaines diverses, les machines élévatoires, et autres engins destinés à produire et à régler l'écoulement des liquides. Nous les étudierons dans le livre suivant, qui est consacré, en partie, aux notions d'hydrodynamique. Ces applications gardent un caractère scientifique, en ce sens que, dans la plupart des cas, on peut calculer d'avance, avec une certaine rigueur, les effets mécaniques de l'air

comprimé ou de l'air raréfié. Les autres applications, plus ou moins récentes, sont d'un ordre presque exclusivement industriel. L'air comprimé y joue le plus souvent le rôle d'une sorte de ressort métallique, dans lequel on a emmagasiné une provision de travail plus ou moins considérable et qu'on dépense ensuite, en détendant l'air, à un moment donné et sur un point déterminé, dans les conditions d'utilisation les plus favorables. On peut classer ces applications suivant la manière dont on réalise la détente de l'air comprimé. Tantôt on la produit d'un manière brusque et intermittente, comme dans le *fusil à vent*, la *poste* ou *télégraphe pneumatique*, les *horloges pneumatiques*, le *frein Westinghouse;* tantôt elle se réalise d'une manière lente, progressive et continue, comme dans les anciens *chemins de fer atmosphériques* (Kingstown, Saint-Germain), ou bien dans les récents systèmes de locomotion ou de transport à air comprimé (*voiture automobile Mékarski*, *locomotive Ribourt*) ; dans les *machines perforatrices*, qui ont été inventées pour le percement des tunnels du mont Cenis, du Saint-Gothard et de l'Arlberg; enfin, dans les appareils à air comprimé employés pour exécuter certains travaux sous l'eau, tels que le forage de puits de mine ou la fondation des piles de pont (*cloches à plongeur*, *scaphandres*, *appareils Triger*).

272. **Fusil à vent.** — Le *fusil à vent* est une des plus anciennes applications de l'air comprimé. L'*arquebuse à vent* a été quelque temps en usage dans les armées. Ce n'est plus aujourd'hui qu'un instrument de physique curieux.

Le *fusil à vent* a l'aspect extérieur d'un fusil ordinaire (fig. 299, I); toutefois le canon en est plus long, parce qu'il y a intérêt à prolonger l'action de l'air comprimé : or la détente de l'air agit évidemment aussi longtemps que le projectile n'est pas expulsé de l'âme du canon. La figure 299, II, représente (en coupe) le mécanisme de l'instrument.

Le réservoir à air comprimé est dans la *crosse* même M, laquelle est creusée en forme de boîte métallique très résistante : on y comprime l'air à une pression au moins égale à 8 ou 10 atmosphères. La communication entre le réservoir et l'*âme* du canon, qui renferme la balle, peut être établie à volonté par le jeu d'une soupape conique S. Au repos, la soupape est appliquée contre l'orifice du réservoir par l'air comprimé lui-même, et la communication est interrompue; mais si l'on appuie sur la *détente d*, le *chien* s'abaisse sur un petit levier *e*, dont l'autre bras pousse alors une tige H', qui force la soupape à céder brusquement et à ouvrir un passage à l'air comprimé. Celui-ci se détend et chasse la balle, avec une vitesse qui dépend de la force élastique initiale.

Cette vitesse peut atteindre celle des balles de fusil ordinaire; mais elle diminue rapidement, aux décharges suivantes, à mesure que le réservoir se vide. Il faut donc, après un petit nombre de coups, recharger le fusil, c'est-à-dire remplir de nouveau la crosse avec de l'air comprimé.

273. **Poste** ou **Télégraphe pneumatique.** — Depuis quelques années[1], le

1. Ce nouveau système fut inauguré à Londres en 1854; il est établi à Paris depuis 1865.