

## CHAPITRE V

## FORCE ÉLASTIQUE DES GAZ

## I. — LOI DE MARIOTTE.

135. La force élastique d'un gaz augmente à mesure que son volume diminue; c'est ce que montre l'expérience du *briquet à air* (51). Mais cet appareil ne permet d'évaluer, ni les volumes successifs du gaz, ni les pressions qu'il supporte. On a dû recourir à d'autres expériences pour obtenir une relation précise entre ces quantités.

Remarquons d'abord que, lorsque le volume d'une masse gazeuse demeure constant, la force élastique de ce gaz est égale à la pression qu'il supporte : les deux expressions *force élastique du gaz* et *pression supportée par le gaz* peuvent donc être prises l'une pour l'autre.

136. **Loi de Mariotte.** — *A une même température, les volumes d'une même masse gazeuse sont inversement proportionnels aux pressions qu'elle supporte (\*)*.

Nous allons vérifier cette loi, au moins approximativement, pour l'air en particulier, au moyen de deux séries d'expériences.

1° Le *tube de Mariotte* est un tube de verre (fig. 117) formé de deux branches inégales; la plus grande B est ouverte, la plus petite A est fermée à sa partie supérieure. — On verse du mercure dans le tube, de manière à enfermer dans la branche A une certaine quantité d'air, et on commence par faire en sorte que les surfaces du mercure M et M' dans les deux branches soient dans un même plan horizontal, comme le représente la figure 118 (c'est ce à quoi on parvient facilement, et

(\*) Cette loi a été énoncée simultanément, vers 1670, en France par l'abbé Mariotte et en Angleterre par Boyle.

inclinant le tube de manière à laisser sortir un peu de l'air que contenait la petite branche). Lorsque ce résultat est obtenu, le volume de l'air AM peut se mesurer au moyen de divisions marquées sur la planche qui soutient le tube : supposons que ce volume corresponde, par

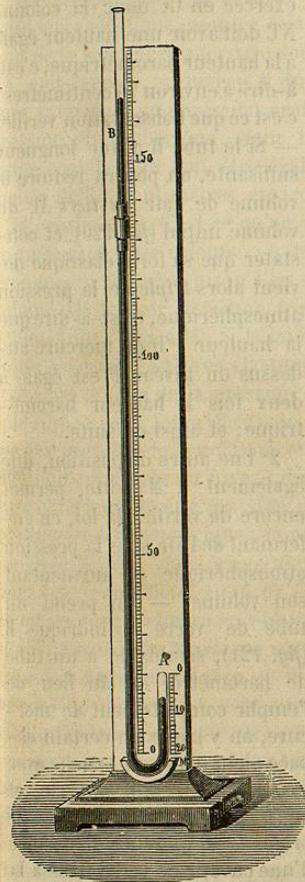


Fig. 117. — Tube de Mariotte.

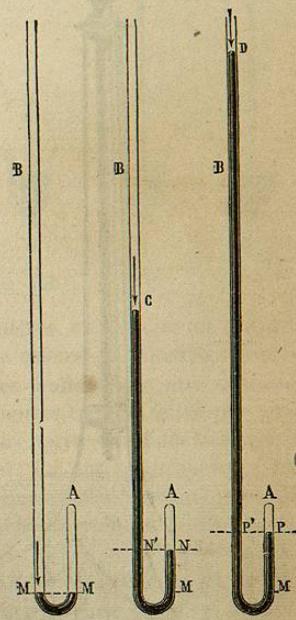


Fig. 118. Fig. 119. Fig. 120.

exemple, à 20 divisions. Quant à la force élastique de l'air, elle est égale à la pression atmosphérique, qui s'exerce en M dans le même plan horizontal. — On ajoute alors du mercure dans la branche B, de façon que le liquide, en s'élevant en A, comprime l'air et réduise son volume à moitié (fig. 119), c'est-à-dire à 10 divisions. Si la loi de Ma-

riotte est vraie, la force élastique de cet air doit alors être égale à *double* de la pression atmosphérique; or, cette force élastique, qui s'exerce en N, fait équilibre à la pression qui s'exerce en N' sur le même plan horizontal, c'est-à-dire à la pression de la colonne de mercure N'C

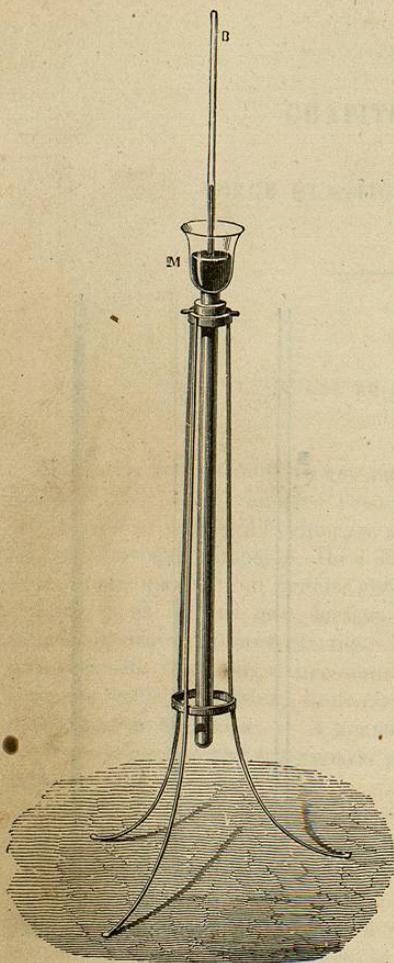


Fig. 121.

plus la pression atmosphérique exercée en C; donc la colonne N'C doit avoir une hauteur égale à la hauteur barométrique, c'est-à-dire à environ 76 centimètres; c'est ce que l'observation vérifie. — Si le tube B a une longueur suffisante, on pourra réduire le volume de l'air au tiers AP du volume initial (fig. 120), et constater que sa force élastique devient alors triple de la pression atmosphérique, c'est-à-dire que la hauteur P'D du mercure au-dessus du niveau P est égale à deux fois la hauteur barométrique; et ainsi de suite.

2° Une autre disposition, due également à Mariotte, permet encore de vérifier la loi, en enfermant de l'air sous la pression atmosphérique et augmentant son volume. — On prend un tube de verre cylindrique B (fig. 121), semblable à un tube de baromètre, et, au lieu de l'emplir complètement de mercure, on y laisse un certain espace plein d'air; on bouche avec le doigt l'extrémité ouverte, et on la plonge dans une cuvette profonde à mercure M, formée d'une cuvette de verre fixée à la partie supérieure d'un tube de fer vertical. — On enfonce d'abord le tube (fig. 122), de manière que les surfaces du mer-

curé dans ce tube et dans la cuvette soient dans un même plan horizontal. On mesure le volume de l'air, en mesurant la longueur AM qu'il occupe dans le tube; quant à sa force élastique, elle est égale à la pression atmosphérique. — On soulève ensuite le tube, jusqu'à ce que

le volume occupé par l'air devienne *double* de ce qu'il était; en même

temps, on voit le mercure s'élever dans le tube (fig. 123). Or, si la loi de Mariotte est exacte, la force élastique de cet air doit alors être égale à la moitié de la pression atmosphérique; mais cette force élastique, ajoutée à la pression de la colonne de mercure soulevée MN, doit exercer, au niveau M du mercure extérieur, une pression égale à la pression atmosphérique; donc la colonne soulevée MN doit être égale à la moitié de 76 centimètres environ, ou à 38 centimètres. C'est ce qu'on vérifie en mesurant cette colonne. — On soulève encore le tube, jusqu'à ce que le volume AP de l'air devienne triple du volume initial (fig. 124). Si la loi de Mariotte est exacte, sa force élastique doit être alors le tiers de la pression atmosphérique: cette force élastique, ajoutée à la pression de la colonne soulevée MP, doit produire, au niveau du mercure extérieur M, une pression égale à la pression atmosphérique: la colonne soulevée MP doit donc avoir une hauteur égale aux deux tiers de 76 centimètres, c'est-à-dire 50<sup>o</sup>,7. C'est ce qu'on vérifie encore en mesurant cette colonne; et ainsi de suite.

137. **La loi de Mariotte ne doit être considérée que comme une loi approximative.** — Les expériences comme celles que nous

venons de décrire ne permettent de faire varier le volume et la pression qu'entre des limites très restreintes. En outre, les mesures ne comportent pas une précision suffisante pour que les résultats puissent être considérés comme une vérification rigoureuse de la loi de Mariotte.

En 1825, des expériences de Faraday, effectuées spécialement en vue de liquéfier les gaz sous l'influence de pressions considérables, amenèrent à concevoir des doutes sur l'exactitude absolue de la loi de Mariotte. — Quelques années après, les expériences d'Erstedt à Copenhague, et celles de Despretz et de Pouillet à Paris, montrèrent que des gaz de natures diverses, placés dans des tubes disposés à côté les uns des autres, et soumis simultanément aux mêmes variations de pression, éprouvent des variations de volume sensiblement différentes. — La loi de Mariotte ne pouvait donc pas être exacte pour tous les

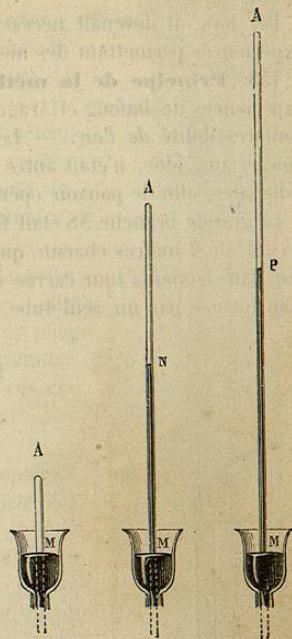


Fig. 122.

Fig. 123.

Fig. 124.

gaz; il était même possible qu'elle ne fût rigoureusement applicable aucun d'eux.

Dès lors, il devenait nécessaire de reprendre la question, par de expériences permettant des mesures précises.

**158. Principe de la méthode de Dulong et Arago.** — Les expériences de Dulong et Arago portèrent exclusivement sur la loi de compressibilité de l'air. — Leur appareil, dont la figure 125 peut donner une idée, n'était autre qu'un tube de Mariotte, de dimensions colossales, afin de pouvoir opérer sur des pressions considérables.

La grande branche NS était formée par une suite de treize tubes de cristal, de 2 mètres chacun, qui étaient appliqués sur des poutres dressées dans la vieille tour carrée du lycée Henri IV; la petite branche AN était formée par un seul tube, fermé à son extrémité supérieure, et

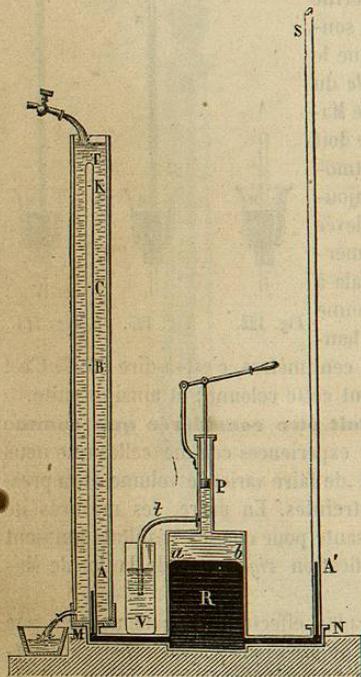


Fig. 125. — Appareil de Dulong et Arago.

Il est aisé de voir que le défaut principal de cette méthode était de présenter, dans la mesure des volumes successifs de l'air, une sensibilité décroissante. — En effet, soit TA le volume occupé par l'air sous la pression atmosphérique; supposons, pour plus de simplicité, que le tube soit rigoureusement cylindrique, et qu'il ait une longueur

environné d'un manchon parcouru incessamment par un courant d'eau froide, pour maintenir constante la température de l'air qu'il contenait, malgré la chaleur dégagée par la compression. Ces deux branches verticales étaient mastiquées dans un conduit horizontal de fonte MN. Au lieu d'introduire le mercure par la partie supérieure de la grande branche, ce qui aurait produit des ébranlements capables de compromettre la solidité de l'appareil, on avait disposé, entre les deux branches, un réservoir R contenant une quantité de mercure assez considérable: lorsqu'on voulait faire varier la pression, on refoulait progressivement le liquide en comprimant, à sa surface ab, de l'eau que la petite pompe P puisait par le tube t, dans un réservoir voisin.

de 2 mètres au-dessus du point A. La loi de Mariotte étant au moins une loi approchée, lorsque la pression acquiert des valeurs successives de 2, 5, 5, 10, 20 atmosphères, le gaz doit occuper des longueurs de tube représentées approximativement par  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{5}$ ,  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{20}$  de AT. Or, dans l'évaluation de la première longueur BT, égale à environ 1 mètre, une erreur de lecture d'un millimètre représente seulement un millième du volume du gaz; la même erreur absolue d'un millimètre, commise sur la dernière longueur TK, c'est-à-dire sur un décimètre, représentera la centième partie du volume actuel du gaz; elle aura donc une valeur relative 10 fois plus grande que la précédente, et il est à craindre que, pour les pressions considérables, ces erreurs n'atteignent une valeur supérieure aux différences qu'on devrait constater.

Aussi, bien que l'appareil eût été construit avec un soin extrême, bien que l'habileté des expérimentateurs pût même suppléer, jusqu'à un certain point, aux défauts du procédé, on trouva, pour l'air, des différences si petites entre les résultats obtenus et la théorie, qu'on les mit sur le compte des erreurs d'expériences, et l'on admit, pour ce gaz, l'exactitude à peu près rigoureuse de la loi de Mariotte.

**159. Principe de la méthode de Reg-**

**gnault.** — Regnault apporta à cette méthode une modification qui en fit une méthode nouvelle, en permettant d'évaluer les volumes successifs du gaz avec une approximation relative constante.

Dans l'appareil qui fut construit au Collège de France (fig. 126), la partie supérieure de la petite branche fut munie d'un robinet r, capable de garder les gaz sous des pressions de plusieurs atmosphères, et communiquant, par un tube métallique o', avec un réservoir où l'on avait comprimé une assez grande masse du gaz sur lequel on devait opérer. Pour introduire le mercure dans les deux branches de l'appareil, on se ser-

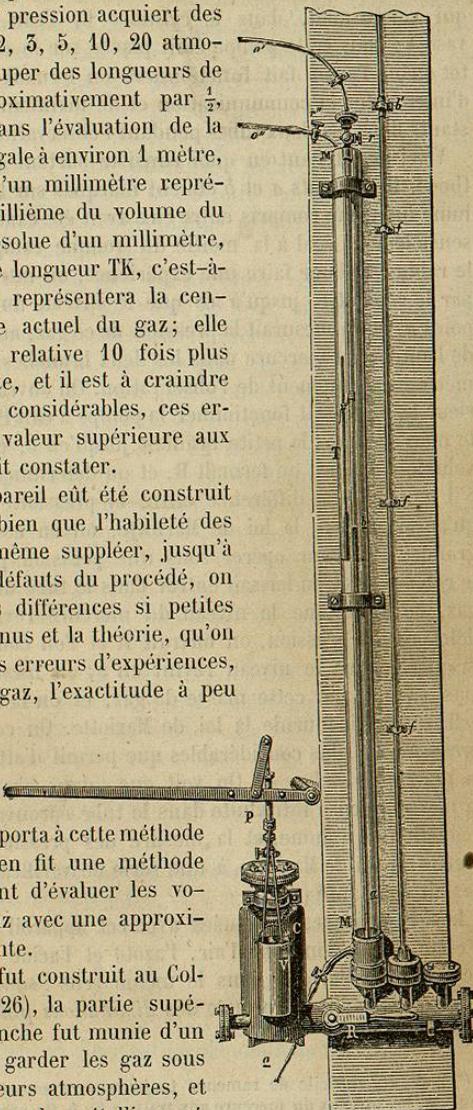


Fig. 126. — Appareil de Regnault

vait, comme dans la méthode de Dulong et Arago, d'une petite pompe P qui comprimait, dans le cylindre C, l'eau qu'elle puisait dans le vase V; mais cette pompe était placée sur le côté de l'appareil: aussitôt qu'on l'avait fait fonctionner, on fermait le gros robinet R, afin d'intercepter la communication et de maintenir les niveaux bien constants dans les deux tubes pendant l'observation.

Voici maintenant en quoi consiste surtout la supériorité de la méthode. Deux traits *a* et *b* étaient marqués sur la petite branche; le volume intérieur compris entre eux avait été exactement mesuré; il était sensiblement égal à la moitié du volume compris entre le trait *a* et le robinet *r*. Pour faire une expérience, on introduisait d'abord du gaz par le robinet *r*, jusqu'à ce que le niveau du mercure descendit au point *a*, et on mesurait la pression de ce gaz, au moyen de la différence de hauteur du mercure dans les deux branches, et de la hauteur barométrique au moment de l'observation. On ouvrait alors le robinet inférieur R, on faisait fonctionner la pompe à eau P, de manière à refouler le mercure dans la petite branche jusqu'en *b*, c'est-à-dire à réduire le volume à moitié; on fermait R, et on déterminait la nouvelle pression. S'il y avait une différence entre la pression ainsi mesurée et celle qu'aurait donnée la loi de Mariotte, on en connaissait le sens et la grandeur. — Pour opérer sous une pression plus grande, on ouvrait le robinet *r*, et on laissait entrer dans le tube une nouvelle quantité de gaz, de façon que le niveau du mercure revint en *a*: après avoir déterminé la pression, on ouvrait R et l'on comprimait encore le gaz jusqu'à ce que le niveau revint en *b*; on mesurait la nouvelle pression acquise par cette masse de gaz, et on la comparait encore avec celle qu'aurait fournie la loi de Mariotte. On continua ainsi jusqu'aux pressions les plus considérables que permit d'atteindre la longueur de la grande branche. — On voit que, dans chacune des expériences, la masse gazeuse introduite dans le tube éprouvait toujours une même réduction de volume, et la mesure des pressions permettait de soumettre la loi de Mariotte à une série de vérifications dont la précision restait constante (\*).

Les expériences effectuées avec cet appareil conduisirent Regnault à cette conclusion, que l'air, l'azote et l'acide carbonique s'écartent de la loi de Mariotte dans le même sens: sous des pressions croissantes, leur volume éprouve des *diminutions plus grandes* que cette loi

(\*) Il eût été difficile de ramener toujours *exactement*, dans les expériences successives, les niveaux du mercure aux traits *a* ou *b*. On avait marqué sur le tube, au voisinage de chacun d'eux, un certain nombre de traits successifs, et l'on avait déterminé, par un jaugeage au mercure, les volumes intérieurs correspondants aux intervalles des traits consécutifs. On pouvait donc se contenter d'amener le mercure au voisinage des traits *a* ou *b*; on connaissait toujours, avec une exactitude sensiblement constante, le volume occupé par le gaz à chaque nouvelle détermination.

ne l'indique (\*). L'écart est surtout considérable pour l'acide carbonique, c'est-à-dire pour celui de ces trois gaz qui est le plus facilement liquéfiable: ainsi, en combinant entre eux les résultats obtenus par les expériences effectuées sous des pressions croissantes, on trouve que pour réduire une même masse d'acide carbonique à  $\frac{1}{16}$  du volume qu'elle occupait sous la pression atmosphérique, il suffit d'une pression d'environ 15 atmosphères. — Au contraire, l'hydrogène, par une exception singulière, s'écarte de la loi de Mariotte dans un sens opposé; pour des pressions croissantes, son volume éprouve des diminutions un peu *moindres* que ne l'indique la loi.

140. **Résultats généraux des recherches relatives à la loi de Mariotte.** — D'après ce qu'on vient de voir, en mettant de côté l'hydrogène qui se comporte d'une manière exceptionnelle, la compressibilité des gaz est, en général, *un peu plus grande* que ne l'indique la loi de Mariotte, et elle est, d'autant plus grande qu'il s'agit d'un gaz qui, dans les conditions de l'expérience, est plus voisin de son point de liquéfaction. — Dans des recherches ultérieures, Regnault a même pu faire usage d'un appareil de dimensions beaucoup moindres que le précédent, pour étudier la compressibilité de certains gaz, beaucoup plus voisins que l'acide carbonique de leur point de liquéfaction, comme l'acide sulfhydrique, l'ammoniaque, l'acide sulfureux, etc. Il a constaté qu'il suffit de faire varier la pression entre 1 et 2 atmosphères, pour que ces gaz présentent des écarts sensibles par rapport à la loi de Mariotte.

Si l'on fait abstraction de ces cas exceptionnels, on peut dire que la loi de Mariotte reste, en général, *suffisamment approchée* pour permettre de calculer les variations de volume que doit éprouver un gaz, sous des variations de pression déterminées, à la condition que ce gaz, dans les conditions de l'expérience, reste suffisamment éloigné de son point de liquéfaction. — C'est ce que nous ferons dans tout ce qui va suivre.

141. **Autre énoncé de la loi de Mariotte.** — Si *V* est le volume d'une masse de gaz sous la pression *P*, et *V'* le volume correspondant à une autre pression *P'*, la loi de Mariotte s'exprime par la formule

$$\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P},$$

formule qui peut s'écrire, en chassant les dénominateurs,

$$(1) \quad VP = V'P'.$$

Or, *P'* désignant ici une pression quelconque, il est clair que si *P''* est

(\*) On n'opéra pas sur l'oxygène pur, parce que ce gaz est absorbé par le mercure dès que la pression devient un peu considérable.

une troisième pression et  $V''$  le volume correspondant, on aura encore  $VP = V'P'$ , et ainsi de suite; en sorte qu'on peut écrire :

$$VP = V'P' = V''P'' = \dots,$$

c'est-à-dire que, à une même température, le produit du volume d'une masse gazeuse par la pression correspondante est constant.

**142. Évaluation du volume d'une masse gazeuse sous la pression normale.** — Lorsque, pour comparer entre elles diverses quantités de gaz, on mesure les volumes qu'elles occupent, les résultats ne sont évidemment comparables qu'autant que les mesures ont été effectuées sous la même pression, pour chacun de ces gaz. — Or, dans la plupart des cas, on ne peut pas disposer à volonté des pressions; mais, si les pressions des divers gaz sont connues, on peut calculer, en appliquant la loi de Mariotte, le volume que chacun d'eux occuperait sous la pression de 760 millimètres, qu'on désigne sous le nom de *pression normale*.

Soit, par exemple, un gaz contenu dans une éprouvette graduée en parties d'égales capacités, et placée sur le mercure; supposons d'abord que le niveau du mercure dans l'éprouvette soit le même qu'à l'extérieur. La graduation donnera le volume  $V$  du gaz, sous la pression de l'atmosphère  $H$ , fournie par l'observation du baromètre au même instant. Dès lors, le volume  $V'$  que le gaz occuperait sous la pression normale sera donné par la formule

$$V' = V \cdot \frac{H}{760}.$$

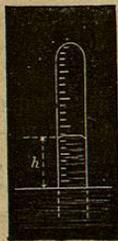


Fig. 127.

Supposons maintenant que le niveau dans l'éprouvette soit au-dessus du niveau extérieur (fig. 127); la force élastique du gaz est égale à la hauteur barométrique  $H$ , diminuée de la différence  $h$  des niveaux. Connaissant donc, au moyen de la graduation de l'éprouvette, le volume  $V$  du gaz sous la pression  $H - h$ , on en déduira son volume  $V'$  sous la pression normale, au moyen de la formule

$$V' = V \cdot \frac{H - h}{760}.$$

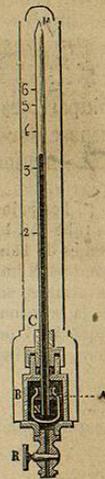
Ces exemples suffisent pour faire concevoir la manière d'opérer, dans les divers cas qui pourront se présenter.

## II. — MESURE DE LA FORCE ÉLASTIQUE DES GAZ. — MANOMÈTRES.

**143. Manomètres en général.** — On donne le nom général de *manomètres*, à des instruments destinés à mesurer les forces élastiques des gaz ou des vapeurs, contenus dans des espaces quelconques. —

Les uns sont destinés aux usages industriels, et ne doivent fournir que des évaluations approximatives, comme celles qui peuvent permettre au chauffeur d'une chaudière de pousser ou de ralentir le feu, de manière que la force élastique de la vapeur se maintienne toujours entre des limites déterminées. — Les autres sont destinés à des expériences précises.

**144. Manomètre à air libre.** — Le manomètre à air libre le plus simple consiste en un tube de verre  $MN$  (fig. 128), ouvert à ses deux extrémités et plongeant dans une cuvette à mercure  $A$ , placée dans un cylindre métallique  $B$ ; le tube est mastiqué solidement en  $C$ : la vapeur, arrivant dans le cylindre par le robinet  $B$ , fait monter le mercure dans le tube. Cet appareil n'étant pas destiné à des évaluations précises, on suppose le niveau du mercure invariable dans la cuvette. — Si le niveau dans le tube est sur le même plan horizontal que dans la cuvette, la pression dans la chaudière est égale à la pression atmosphérique; lorsque la pression dans la chaudière devient 2 atmosphères, le mercure monte de 76 centimètres dans le tube; si la pression devient 3 atmosphères, la hauteur du mercure devient égale à  $76 \times 2$ ; et ainsi de suite. On peut donc marquer 2, 3, ... atmosphères, sur la planche qui supporte le tube, à des distances du niveau du mercure dans la cuvette égales à 76°, à  $76^\circ \times 2$ .... En subdivisant ensuite cet intervalle, on peut évaluer les fractions égales à  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$  d'atmosphère.

Fig. 128.  
Manomètre à air libre.Fig. 129.  
Manomètre à air comprimé.

**145. Manomètres à air comprimé.** — Le manomètre à air comprimé (fig. 129) diffère du précédent en ce que le tube de verre est plus court, et fermé à sa partie supérieure  $M$ . L'air enfermé dans ce tube se comprime quand le mercure monte: pour évaluer la pression qui s'exerce en  $A$ , il faut ajouter, à la pression de la colonne de mercure, la

force élastique de cet air, qui varie en raison inverse de son volume. On voit donc que la pression de 2 atmosphères doit être indiquée à une distance du sommet  $M$  un peu plus grande que la moitié de  $MA$ : celle de 3 atmosphères, à une distance un peu plus grande que le tiers de  $MA$ , et ainsi de suite. Les constructeurs déterminent généralement

la position des points de division en comparant les indications de l'instrument à celles d'un manomètre à air libre (\*).

Le principal avantage de cet instrument est de n'avoir qu'une petite hauteur, et d'être, par suite, plus facilement transportable que le manomètre à air libre. Mais les chiffres qui marquent les pressions un peu grandes, 8, 9, 10, ..., arrivent à être tellement voisins les uns des autres, qu'une petite erreur dans l'observation du niveau du mercure correspond à une erreur considérable dans l'évaluation de la pression. — En outre, l'oxydation du mercure, qui se produit au contact de l'air comprimé, a pour effet de salir le tube et de rendre les indications peu précises.

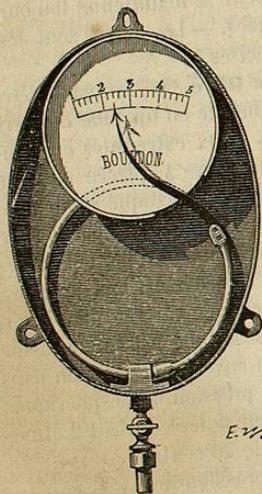


Fig. 150. — Manomètre métallique.

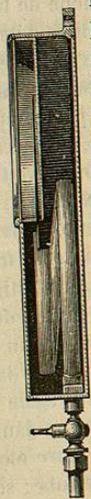


Fig. 151.

**146. Manomètres métalliques.** — Aux manomètres à mercure on substitue, pour la

plupart des machines à haute pression, des manomètres dont le jeu repose sur l'élasticité des métaux.

Le manomètre de Bourdon (fig. 150 et 151) se compose d'un tube

(\*) Les points de division peuvent être déterminés par le calcul, en supposant que le tube soit bien cylindrique à l'intérieur, de sorte qu'on puisse représenter les volumes de l'air par les longueurs qu'il occupe. — Soit  $l$  la longueur du tube, depuis le sommet  $M$  jusqu'au niveau du mercure dans la cuvette, niveau que nous supposons invariable; soit  $x$  la longueur du tube qui est occupée par l'air, pour une valeur  $H$  de la pression. Cet air occupait un volume représenté par  $l$  sous la pression atmosphérique  $h$ ; il occupe un volume représenté par  $x$  sous la pression  $H - (l - x)$ ; on a donc, d'après la loi de Mariotte,

$$\frac{x}{l} = \frac{h}{H - l + x},$$

ce qui donne l'équation

$$x^2 + x(H - l) - lh = 0$$

$$x = -\frac{H - l}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{H - l}{2}\right)^2 + lh}.$$

Ces deux valeurs de  $x$  sont réelles, mais celle qui correspond au signe — du radical est négative, et ne peut pas convenir; le signe + doit donc seul être conservé. En prenant successivement pour valeurs de  $H$  les multiples de 0<sup>m</sup>,76, on saura à quelles distances de  $M$  on devra marquer les pressions successives, en atmosphères.

On pourrait encore tenir compte de l'abaissement du mercure dans la cuvette, étant donné le rapport du diamètre de la cuvette à celui du tube: nous laisserons au lecteur le soin de résoudre cette question, qui n'offre aucune difficulté, et qui conduit, en prenant la même inconnue, à une équation semblable.

métallique à paroi mince et à section elliptique. Ce tube est enroulé en spirale, comme le montre la figure 151: l'une de ses extrémités communique avec la chaudière, au moyen d'un robinet; son autre extrémité est libre, et fermée par une pièce métallique qui porte une aiguille, comme le montre la figure 150. Lorsque la pression intérieure augmente, la spirale tend à s'ouvrir, et l'extrémité libre du tube entraîne l'aiguille sur un cadran divisé, où les pressions sont marquées en atmosphères. La graduation est faite par comparaison avec un manomètre déjà construit.

**147. Manomètres de Regnault.** — On doit à Regnault diverses dispositions qui permettent de mesurer les pressions des gaz, dans les recherches précises, avec une grande exactitude.

Nous rappellerons d'abord l'emploi du grand tube ouvert  $L$  (fig. 126) dans l'étude de la loi de Mariotte; il a permis, comme on l'a vu, de mesurer, avec une précision constante, des pressions qui ont atteint 50 atmosphères. — Pour mesurer des pressions comprises entre 1 et 5 atmosphères, Regnault a fréquemment employé le manomètre à air libre représenté par la figure 152. Le tube  $CA$  est mis en communication avec l'enceinte qui contient le gaz ou la vapeur soumis à l'expérience; le tube  $DF$  s'ouvre dans l'atmosphère. La différence  $h$  des niveaux du mercure dans les deux tubes, mesurée au cathétomètre, donne, avec l'observation de la hauteur barométrique  $H$ , la pression  $H + h$  dans l'enceinte.

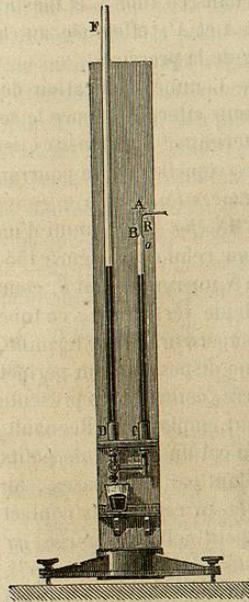


Fig. 152.

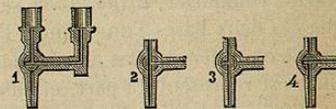


Fig. 153.

Pour la commodité des manipulations, la pièce de fer dans laquelle les deux tubes sont mastiqués présente un robinet à trois voies, qui, par les quatre positions indiquées par la figure 153, permet, à volonté, d'établir la communication entre les deux tubes (position 1), ou de faire écouler le mercure des deux tubes à la fois (position 2), ou de le faire écouler seulement du tube de gauche ou du tube de droite (position 3 ou position 4). — On voit enfin que, si ce robinet est tourné à 45 degrés

de l'une de ces quatre positions, les trois voies sont fermées, et il intercepte toute communication.

**148. Manomètre barométrique.** — Le manomètre qui vient d'être décrit peut également servir à mesurer des pressions inférieures à une atmosphère. Mais, pour la mesure des pressions faibles, Regnault a employé plus ordinairement la disposition indiquée par la figure 154, et connue sous le nom de *manomètre barométrique*. — Une cuvette de fonte, semblable à celle du baromètre fixe (fig. 109), reçoit un tube barométrique  $AB'$ , et un second tube  $AB$  communiquant, par sa partie supérieure, avec l'enceinte qui contient le gaz ou la vapeur. A mesure que la pression devient moindre dans cette enceinte, le mercure s'élève dans ce tube : la mesure de la différence des niveaux  $A$  et  $A'$ , effectuée au cathétomètre, donne la valeur de la pression.

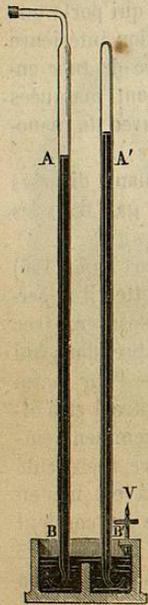


Fig. 154.  
Manomètre barométrique.

Un manomètre à mercure  $MN$  (fig. 155), muni d'un robinet à trois voies  $R$ , comme celui de la figure 153, et présentant sur sa branche  $N$  un renflement  $b$ , communique avec le tube métallique vertical  $rg$  : ce tube porte un robinet à sa partie supérieure; il se termine, à sa partie inférieure, par une disposition qui permet d'y ajuster un ballon de verre, comme le représente la figure. Ce mode d'ajustage, très fréquemment employé par Regnault, consiste à adapter, à l'extrémité du tube et au col du ballon, de petits renflements coniques  $c, c'$  (fig. 156), se regardant par leurs bases : on applique ces deux bases l'une contre l'autre, et on rend leur contact hermétique en entourant les deux cônes d'un petit collier à gorge  $gg'$  (ce collier est représenté à part, et vu en dessus, dans la figure 157).

Pour obtenir la densité d'un corps pulvérulent, on détermine d'abord son poids, au moyen de la balance; il reste ensuite à mesurer son volume : c'est à cette mesure que sert le volumétre. — On détache le ballon  $B$ , pour y introduire le corps, et on l'adapte de nouveau à l'appareil. Le robinet  $r$  étant ouvert, et le robinet  $R$  étant placé dans la position 1 (fig. 153), de manière à mettre les deux branches du manomètre en com-

(\*) L'appareil dont la disposition est indiquée par la figure 153, et qui est le volumétre de Regnault, est une modification d'un appareil qui avait été imaginé par le capitaine Say, pour les poudres de guerre, et qui avait été désigné par lui sous le nom de *stéréomètre*.

munication, on verse du mercure dans la branche  $M$ , jusqu'à ce que le liquide arrive, dans les deux branches, au niveau d'un trait  $\alpha$  marqué au-dessus de la boule  $b$ , et l'on ferme alors  $r$ . Si l'on désigne par  $V$  le volume du ballon et des tubes jusqu'au trait  $\alpha$ , volume que nous supposons préalablement connu, et par  $x$  le volume inconnu du corps, on a isolé ainsi une masse d'air dont le volume est  $V - x$ , sous la pression atmosphérique  $H$ . On place alors le robinet  $R$  dans la position 2, de manière à faire écouler le mercure des deux branches à la fois, jusqu'à ce qu'il arrive, dans la branche  $N$ , à un trait  $\beta$  marqué au-dessus de la boule  $b$ , et on replace le robinet dans la position 1; le volume de l'air intérieur ayant augmenté, sa pression a diminué, en sorte que le mercure dans la branche  $M$  est un peu plus bas que dans la branche  $N$  : on mesure au cathétomètre la différence de niveau  $h$ . Si l'on désigne par  $v$  le volume compris entre les traits  $\alpha$  et  $\beta$ , on voit que la masse d'air a pris un volume  $V - x + v$ , sous la pression  $H - h$ . En appliquant la loi de Mariotte, on a l'équation

$$(V - x)H = (V - x + v)(H - h),$$

ou

$$x = V - v \frac{H - h}{h} (*).$$

Voici maintenant comment on peut opérer pour déterminer, une fois pour toutes, les volumes  $V$  et  $v$ . — On mesurera  $v$ , en remplissant

(\*) On peut également faire l'opération en sens inverse, c'est-à-dire amener d'abord les niveaux du mercure, le robinet  $r$  étant ouvert, à se trouver dans le plan horizontal passant par le point  $\beta$ . En fermant alors  $r$ , on isole une masse d'air dont le volume est  $V - x + v$  sous la pression atmosphérique  $H$ . On ajoute ensuite du mercure par la branche ouverte, de manière à amener le liquide dans l'autre branche au trait  $\alpha$  : en désignant par  $h'$  la hauteur dans la branche  $M$  au-dessus du trait  $\alpha$ , on a alors

$$(V - x + v)H = (V - x)(H + h') \quad \text{ou} \quad x = V - v \frac{H}{H'}.$$

Ce second résultat peut servir de vérification au premier. — Il n'est pas inutile d'ailleurs de soumettre le même corps successivement à l'une et à l'autre méthode de détermination. En effet, certains corps pulvérulents absorbent l'air d'une manière très inégale, selon la pression à laquelle ils sont soumis : dans ce cas, en opérant successivement par dilatation et par compression, on obtient des résultats qui diffèrent d'une manière notable. Quand on trouve de pareilles divergences, on en doit conclure que la méthode du volumétre n'est pas applicable au corps soumis à l'expérience.

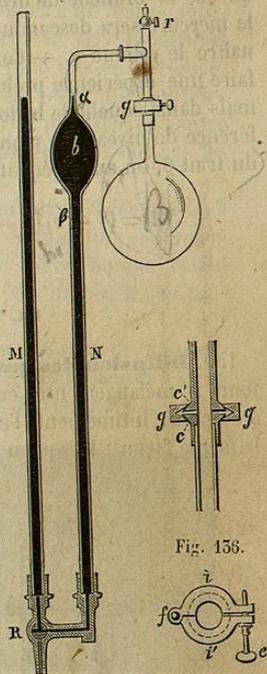


Fig. 153.  
Volumétre.

Fig. 156.

Fig. 157.