

96. Dépressions capillaires — Les dépressions capillaires sont soumises à des lois semblables. — Les expériences de vérification ont été faites principalement sur le mercure. On mastique, aux deux extrémités d'un tube de fer deux fois recourbé *abc* (fig. 76), d'une part une large cuvette de verre *D*, et, d'autre part, le tube de verre capillaire soumis à l'expérience. On introduit du mercure dans ces deux vases communicants, et on détermine, au cathétomètre, la distance verticale des deux niveaux *m* et *n*.

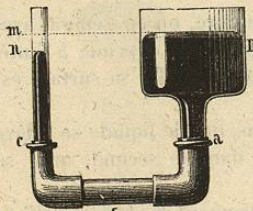


Fig. 76.

97. Effets divers dus à la capillarité. — L'eau, l'alcool, l'éther, etc., s'élèvent, entre deux lames parallèles (fig. 77), à une hauteur d'au-

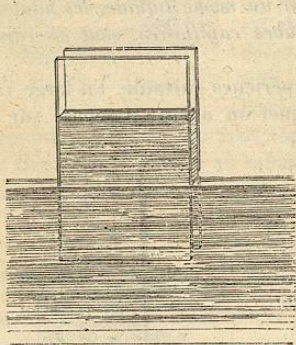


Fig. 77.

tant plus grande que ces lames sont plus rapprochées. L'ascension est la moitié de ce qu'elle serait dans un tube d'un diamètre égal à l'écartement des lames.

Entre des lames de verre se touchant par un de leurs bords verticaux (fig. 78), le liquide s'élève, dans l'espace angulaire qu'elles comprennent, d'autant plus haut que l'on considère des points plus voisins de l'arête de contact.

La capillarité explique l'ascension des liquides dans les canaux des corps poreux. — Elle joue un rôle important, comme l'a montré Jamin, dans les mouvements de la sève chez les végétaux.

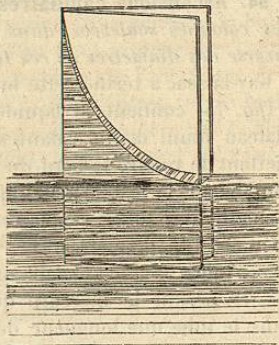


Fig. 78.

CHAPITRE III

DENSITÉS. — ARÉOMÈTRES

I. — DENSITÉS. — POIDS SPÉCIFIQUES.

98. Définitions. — D'une manière générale, on appelle *densité absolue*, ou *masse spécifique* d'un corps, la masse de l'unité de volume de ce corps. — Dans le système C.G.S., la densité absolue d'un corps est la masse d'un centimètre cube de ce corps, évaluée en grammes. La densité de l'eau à la température de 4° est, par définition, égale à l'unité.

On appelle *densité relative* d'un corps, ou *densité par rapport à l'eau*, le rapport de la masse du corps à la masse du même volume d'eau. — Dans le système C.G.S., la densité absolue et la densité relative sont représentées par le même nombre. — Par exemple, la densité relative du fer est le nombre abstrait 7,8; la masse de 1^{er} de fer est 7^{er},8.

On appelle *poids spécifique relatif* d'un corps, ou *poids spécifique par rapport à l'eau*, le rapport du poids de ce corps au poids du même volume d'eau. — Quel que soit le système d'unités adopté, le poids spécifique relatif et la densité relative d'un corps sont deux rapports égaux. En effet, soient *M* et *m* les masses du corps et du même volume d'eau, *P* et *p* les poids du corps et du même volume d'eau; on a : $P = Mg$; $p = mg$; d'où $\frac{P}{p} = \frac{M}{m}$; le premier de ces rapports est, par définition, le poids spécifique du corps par rapport à l'eau; le second est la densité relative.

On voit donc que les Tables qui donneront ces nombres, pour les diverses substances, pourront être intitulées indifféremment : tables de *densités relatives*, ou tables de *poids spécifiques relatifs*.

Quant à la détermination expérimentale de l'un de ces nombres, elle comprendra deux opérations : 1° détermination du poids *P* d'un échantillon de cette substance (plus exactement sa *masse*); 2° déter-

BIBLIOTHÈQUE DE MÉDECINE FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

mination du poids p du même volume d'eau (plus exactement sa masse). — On fera ensuite le quotient de P par p :

$$D = \frac{P}{p}$$

Quant à l'usage que l'on pourra faire de ce nombre D , le plus fréquent consiste à déterminer le poids, ou plutôt la masse, d'un corps dont on connaît la densité et le volume, sans avoir recours à une pesée directe. — Puisque le nombre D représente, en grammes, la masse d'un centimètre cube de la substance, si l'on désigne par V son volume en centimètres cubes; la masse du corps sera exprimée, en grammes, par le produit VD .

99. Remarque relative aux tables de poids spécifiques ou densités. — Pour fixer avec précision la signification du nombre qui représentera le poids spécifique relatif ou la densité de chaque corps, il est nécessaire de définir les conditions dans lesquelles le corps est supposé placé, et en particulier sa température. Il est clair, en effet, que, le volume d'un corps étant variable avec sa température, le poids ou la masse de la partie comprise dans un centimètre cube dépend de la température du corps lui-même. — Dans les tables numériques, comme celle de la page 85, les corps solides ou liquides sont supposés à la température de 0°. On verra, dans l'étude de la Chaleur, comment on en peut déduire, pour chaque corps, la densité à une température quelconque.

II. — DÉTERMINATION EXPÉRIMENTALE DES DENSITÉS DES CORPS SOLIDES ET LIQUIDES.

100. Méthode du flacon. — *Corps solides.* — Les flacons destinés à déterminer les densités des corps solides sont de formes diverses : lorsqu'on veut opérer sur des corps en gros fragments, on se sert de flacons à large goulot (fig. 79), dont le bord a été usé à l'émeri, de façon qu'un disque de verre plan puisse s'y appliquer exactement. Quand le flacon aura été rempli d'eau, on fera glisser le disque sur le goulot, de manière à chasser le liquide qui pourrait dépasser le bord du flacon, en prenant une forme convexe.

Pour déterminer la densité d'un corps solide insoluble dans l'eau, d'un fragment de marbre par exemple, on le met dans l'un des plateaux A de la balance, et l'on place à côté le flacon rempli d'eau et fermé par son obturateur; on fait équilibre avec une tare placée dans l'autre plateau. On enlève alors le corps et on le remplace par des poids marqués, ce qui donne son poids P , par double pesée (68). — On retire ensuite les poids marqués et l'on introduit le fragment de marbre

dans le flacon : il sort une certaine quantité d'eau; on replace l'obturateur, on essuie le flacon et on le remet dans le plateau A . L'équilibre ne peut subsister, puisque le corps a chassé un volume d'eau égal au sien : les poids marqués qu'on doit ajouter en A représentent le poids de cette eau, c'est-à-dire p , avec l'exactitude de la double pesée. — Le quotient de P par p est la densité du marbre.



Fig. 79.

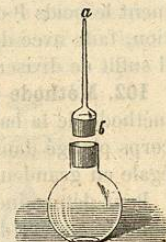


Fig. 80.

Pour opérer sur des corps en petits fragments ou en poudre, on emploie de petits flacons à goulot étroit (fig. 80), dont le bouchon ab est formé d'un tube effilé, usé à l'émeri en b de façon qu'il s'enfoncé d'une quantité toujours égale dans le goulot. Lorsqu'on a rempli d'eau le flacon et qu'on introduit le bouchon, il sort une certaine quantité de liquide par l'ouverture a , et, comme la surface libre de l'eau a un diamètre très petit, il n'importe pas qu'elle soit plane ou courbe. — On opère comme avec le flacon précédent : il faut remarquer seulement que les corps en poudre peuvent, lorsqu'on les introduit dans l'eau, entraîner les bulles d'air qui se dégagent difficilement : pour chasser ces bulles d'air, on place le flacon sous le récipient de la machine pneumatique, et on le laisse quelque temps dans le vide.

101. Corps liquides. — On se sert ordinairement, pour les liquides, de petits flacons dont l'usage a été introduit par Regnault. La figure 81 représente un de ces flacons : il se compose d'un réservoir cylindrique R , surmonté d'un petit tube capillaire portant un trait de repère a , et d'une autre partie cylindrique C qui sert d'entonnoir. Un bouchon de verre B empêche l'évaporation des liquides volatils pendant les pesées. Lorsqu'on a rempli le flacon d'un liquide (*), on enlève, avec un petit rouleau de papier buvard, tout ce qui dépasse le trait a marqué sur le tube.

Pour déterminer la densité d'un liquide, on place le flacon plein de ce liquide dans l'un des plateaux de la balance, et l'on établit l'équilibre en faisant une tare dans l'autre plateau. Puis, on vide le flacon,

(*) Le tube a étant capillaire, il faut, pour introduire le liquide, employer un procédé particulier, semblable à celui qui sera indiqué plus loin pour la construction du thermomètre.



Fig. 81.

on le sèche, et on le replace dans le même plateau; les poids marqués qu'il faut ajouter, du même côté, pour rétablir l'équilibre, expriment le poids P du liquide que contenait le flacon — La même opération, faite avec de l'eau, donne le poids p d'un égal volume d'eau. — Il suffit de diviser P par p pour avoir la densité du liquide.

102. Méthode de la balance hydrostatique — *Corps solides.* — La méthode de la balance hydrostatique est fondée sur ce principe, qu'un corps plongé dans un liquide éprouve une poussée, de bas en haut, égale en grandeur au poids du liquide déplacé (88).

Pour déterminer la densité d'un corps solide, insoluble dans l'eau, d'un fragment de bronze, par exemple, on l'accroche, par un fil

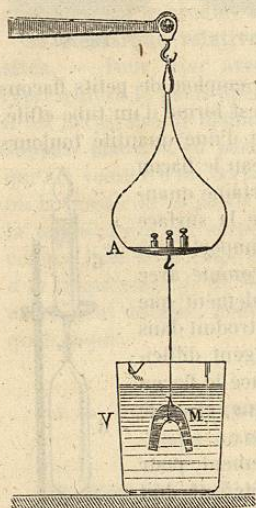


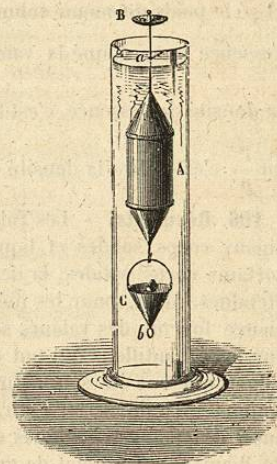
Fig. 82.

métallique fin, à l'un des plateaux A de la balance (fig. 82), et on lui fait équilibre avec une tare placée dans l'autre plateau; on enlève le corps, et l'on rétablit l'équilibre en plaçant des poids marqués dans le plateau A : on connaît ainsi le poids P du corps, par la méthode même de la double pesée (68). — Après avoir enlevé les poids marqués, on accroche de nouveau le corps sous le plateau, et on le descend dans l'eau; l'équilibre étant détruit, on le rétablit en plaçant des poids marqués dans le plateau A. — Ces poids expriment le poids p de l'eau déplacée, indépendamment de la justesse de la balance. — On divise P par p , et le quotient est la densité cherchée.

103. Corps liquides. — Pour déterminer la densité d'un corps liquide, d'un alcool, par exemple, on suspend par un fil fin, à l'un des plateaux A de la balance, un corps solide quelconque, par exemple une boule de verre convenablement lestée, et l'on en fait la tare. On plonge alors cette boule dans l'alcool, et, pour rétablir l'équilibre, on place dans le plateau A des poids marqués, qui représentent le poids P de l'alcool déplacé. — En plongeant ensuite la boule dans l'eau pure, on connaît, par les poids qu'il faut placer dans le plateau A pour rétablir l'équilibre, le poids p du même volume d'eau. — En divisant P par p , on obtient la densité de l'alcool.

104. Méthode de l'aréomètre de Nicholson. — L'aréomètre de Nicholson (fig. 85) se compose d'un cylindre métallique creux A, terminé en haut et en bas par deux cônes : le cône supérieur porte une tige métallique et un plateau; au cône inférieur est suspendue une corbeille lestée par de la grenaille de plomb.

Pour déterminer la densité d'un corps solide, d'un fragment de soufre, par exemple, on met l'instrument dans l'eau, on place le corps sur le plateau B, et l'on ajoute de la grenaille de plomb de façon que l'instrument s'enfonce jusqu'à un trait d'affleurement a marqué sur la tige; puis on remplace le corps par des poids marqués, de manière à produire de nouveau l'affleurement; on connaît ainsi le poids P du corps, comme on l'obtiendrait avec une balance, mais avec une sensibilité moindre, à cause de l'adhérence de l'eau pour les parois de l'instrument. — On retire alors ces poids, et l'on place le morceau de soufre sur la corbeille C; le corps, étant plongé dans l'eau, éprouve une poussée, en sorte que, pour rétablir l'affleurement, il faut placer des poids marqués sur le plateau B; ils expriment le poids d'un volume d'eau égal à celui du soufre. — Le quotient de P par p est la densité cherchée.

Fig. 85.
Aréomètre de Nicholson.

Lorsqu'on opère sur des corps dont la densité est moindre que celle de l'eau, la poussée tendrait à les faire remonter à la surface : on retourne alors la corbeille, et on l'accroche par l'anneau b ; la poussée presse le corps dans la concavité de la corbeille, et la méthode s'applique sans autre modification.

Cette méthode de l'aréomètre, qui n'exige pas l'usage de la balance, est surtout employée par les minéralogistes. L'instrument est commode, en ce qu'il est portatif; on l'enferme dans un étui de fer-blanc, qui peut tenir lieu, en voyage, de l'éprouvette dans laquelle on fait flotter l'aréomètre (*).

105. Corps solides solubles dans l'eau. — Aucune des méthodes précédentes n'est immédiatement applicable aux corps solides qui sont solubles dans l'eau. — Si ces corps ne sont pas solubles dans l'essence

* On a construit, pour déterminer la densité des liquides, un instrument analogue, l'aréomètre de Fahrenheit, dont on fait d'ailleurs assez rarement usage. Il est en verre et lesté par du mercure placé dans une petite boule, à sa partie inférieure.

L'instrument a été pesé une fois pour toutes; soit, par exemple, 50 grammes son poids. — On le plonge dans le liquide dont on veut déterminer la densité, et l'on ajoute des poids marqués sur le plateau supérieur, de manière à le faire s'enfoncer jusqu'au trait d'affleurement. Puisque l'instrument flotte, la poussée qu'il éprouve est égale à son poids total, c'est-à-dire à la somme de 50 grammes et des poids placés sur le plateau : cette somme exprime donc le poids P d'un volume du liquide égal au volume de la partie plongée. — De même l'instrument étant plongé dans l'eau : la somme de 50 grammes et des poids qui déterminent l'affleurement représente le poids p d'un égal volume d'eau. — Le quotient de P par p exprime la densité du liquide.

de térébenthine, on opère avec ce liquide comme on l'aurait fait avec l'eau, ce qui donne la densité du corps *par rapport à l'essence* : il est facile de voir qu'il suffit de multiplier ensuite ce nombre par la densité de l'essence par rapport à l'eau.

En effet, soient P le poids du corps, p le poids du même volume d'eau, et p' le poids du même volume d'essence. L'opération effectuée avec de l'essence aura donné la valeur de $\frac{P}{p'}$; or, multiplier cette valeur par

la densité de l'essence, c'est la multiplier par $\frac{p'}{p}$, ce qui donne $\frac{P}{p} \times \frac{p'}{p}$,

ou $\frac{P}{p}$, c'est-à-dire la densité du corps par rapport à l'eau.

106. Résultats. — Les Tables ci-après donnent les densités des principaux corps solides et liquides. — On pourra remarquer que, pour certains corps solides, la densité peut varier entre des limites assez étendues. Ainsi, pour les métaux, comme le cuivre ou le platine, l'expérience fournit des valeurs sensiblement différentes, selon qu'on opère sur les échantillons qui ont été simplement fondus, ou sur des échantillons qui ont été soumis ultérieurement à des actions mécaniques, comme le laminage ou l'étréage à la filière. — Le carbone présente aussi des poids spécifiques différents, suivant qu'on le prend à l'état de diamant ou à l'état de graphite. — Des particularités analogues se retrouvent dans le soufre, le phosphore, et dans un grand nombre d'autres corps.

107. Emploi des tables pour déterminer les densités absolues ou les poids spécifiques absolus. — Pour chaque corps, le nombre inscrit dans les Tables permet de déterminer, dans un système quelconque d'unités, le poids spécifique absolu et la densité absolue, pourvu que l'on connaisse le poids spécifique absolu et la densité absolue de l'eau, dans le même système d'unités. — Ainsi, dans le système d'unités usitées en Mécanique, le poids du mètre cube d'eau (à Paris) étant de 1000 kilogrammes, et le poids de l'unité de masse (à Paris) étant de 98, il en résulte que le poids spécifique absolu de l'eau (à Paris) est 1000, et la densité absolue de l'eau est $\frac{1000}{98} = 102$ environ. Dès lors, pour le fer, par exemple, le nombre inscrit dans la Table étant 7,79, le poids spécifique absolu sera $7,79 \times 1000 = 7790$; la densité absolue sera $7,79 \times 102 = 794,58$.

Le système C.G.S. présente, comme il a déjà été dit (98), ce grand avantage que, d'après la définition du gramme-masse, la densité absolue de l'eau est l'unité; il en résulte que la densité absolue d'un corps est exprimée par le nombre même qui est inscrit dans la Table. Pour le fer, la densité absolue est 7,79, c'est-à-dire que la masse de 1^{er} est 7^{er},79. — Quant au poids spécifique absolu de ce corps, en un lieu déterminé, on l'obtiendra en faisant le produit du nombre inscrit dans la Table par g, l'intensité de la pesanteur en ce lieu. Le poids spécifique absolu du fer, à Paris, est $7,79 \times 981 = 7641,99$, c'est-à-dire que 1^{er} de fer, à Paris, dans le vide, est sollicité à tomber par une force de 7641^{er},99.

DENSITÉS RELATIVES

CORPS SOLIDES.

Acier trempé	7,82	Ivoire	1,92
Aluminium fondu	2,36	Jayet	1,51
Anthracite	1,40	Laiton	8,45
Antimoine	6,72	Liège	0,24
Argent fondu	10,47	Magnésium	1,74
Arsenic	5,75	Manganèse	8,01
Bismuth fondu	9,82	Marbre statuaire	2,71
Bois de hêtre	0,85	Nickel fondu	8,28
— de peuplier	0,59	Or fondu	19,26
— de sapin jaune	0,66	— forgé	19,56
Cadmium écroui	8,69	Phosphore ordinaire	1,84
Calcium	1,58	— rouge	2,10
Chrome	5,90	Platine fondu	21,45
Cobalt fondu	7,81	— écroui	25,00
Cristal de roche	2,65	Plomb	11,35
Cuivre fondu	8,85	Porcelaine de Chine	2,58
— laminé	8,95	— de Sèvres	2,24
Diamant du Brésil	3,52	Potassium	0,87
Étain	7,29	Silicium cristallisé	2,63
Fer	7,79	— amorphe	2,49
Flint-glass	5,59	Sodium	0,97
Fonte de fer	7,21	Soufre natif ou octaédrique	2,07
Glace	0,92	— prismatique	1,97
Graphite	2,16	Succin	1,08
Houille compacte	1,55	Verre à vitres	2,55
Iode	4,95	Zinc	7,19

CORPS LIQUIDES.

Acide nitrique fumant	1,52	Essence de térébenthine	0,86
— sulfurique concentré	1,84	Huile d'olive	0,91
Alcool absolu	0,79	Lait	1,05
Brome	2,97	Mercure	15,59
Eau de mer	1,02	Sulfure de carbone	1,29
— distillée, à 4 degrés	1,00	Vin de Bordeaux	0,99
Esprit de bois	0,80	— de Bourgogne	0,99

III. — ARÉOMÈTRES À POIDS CONSTANT.

108. Aréomètres à poids constant, en général. — On donne le nom d'*aréomètres à poids constant* à des instruments dont on fait usage dans l'industrie, et qui sont destinés à fournir des indications sur le degré de concentration des liquides, c'est-à-dire sur la quantité d'eau qui s'y trouve mélangée. — Ils se composent tous (*fig.* 84, 85, et 86) d'un tube de verre, portant un renflement à sa partie inférieure; une ampoule, contenant du mercure ou de la grenaille de plomb, sert à lester l'appareil et le maintient vertical quand il flotte dans un liquide. — Ils ne diffèrent entré eux que par leur graduation.

109. Aréomètres de Baumé. — Les aréomètres de Baumé se graduent de deux manières différentes, selon qu'ils sont destinés à des liquides plus denses que l'eau, ou à des liquides moins denses.

1° Les aréomètres destinés à des liquides *plus denses que l'eau* sont désignés, dans l'industrie, sous les noms de *pèse-acides*, *pèse-sirops*, *pèse-sels*, etc. — Pour graduer l'un de ces instruments, on le plonge dans l'eau pure, à la température de 12° environ, et l'on règle le lest de manière qu'il s'enfonce à peu près jusqu'au sommet du tube : on marque zéro au point d'affleurement (fig. 84). On fait ensuite une solution contenant, en poids, 15 parties de sel marin pour 85 parties d'eau : on y plonge l'instrument, qui s'y enfonce moins que dans l'eau pure, puisque cette solution est plus dense : au nouveau point d'affleurement, on marque 15. On partage l'intervalle de ces deux points en 15 parties égales, qu'on appelle *degrés* de l'aréomètre, et l'on continue à marquer des degrés égaux jusqu'au bas de la tige.



Fig. 84.
Aréomètres de Baumé.

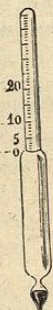


Fig. 85.

la tige (*).

On voit que ces deux graduations sont absolument arbitraires : elles sont, en outre, indépendantes l'une de l'autre, et les deux échelles n'ont pas le même zéro. — Ces instruments sont donc uniquement destinés à fournir des points de repère à l'industrie ; on sait, par exemple, que l'acide sulfurique du commerce doit marquer 66° au pèse-acides de Baumé ; que l'éther ordinaire du commerce doit marquer au pèse-esprits 56°, et qu'il peut en marquer jusqu'à 65 quand on le rectifie, etc.... Si ces liquides marquent un degré plus élevé que le degré commercial, c'est qu'ils sont plus concentrés qu'on n'est en droit de l'exiger ; s'ils marquent un degré moindre, c'est qu'ils ne sont pas assez concentrés. — Mais l'instrument n'indique pas quelle est la proportion d'eau : il ne peut donc donner exactement la valeur vénale du mélange.

(*) Le plus souvent, on se contente de graduer les pèse-liqueurs en les comparant avec d'autres instruments déjà construits : on se dispense alors de marquer sur la tige les dix premiers degrés, qui seraient inutiles dans la pratique.

110. **Alcoomètre centésimal de Gay-Lussac.** — L'alcoomètre de Gay-Lussac (fig. 86) est un aréomètre dont la graduation est effectuée de façon à donner la *richesse en alcool* des mélanges d'alcool et d'eau, pourvu qu'ils ne contiennent aucune autre matière. — La graduation est faite à la température de 15°. On plonge d'abord l'instrument dans de l'alcool absolu, et l'on règle le lest de façon qu'il s'enfonce jusqu'au sommet de la tige : en ce point, on marque 100. Puis on fait une solution contenant *en volume* 95 d'alcool pour 100 ; au point d'affleurement on marque 95, et ainsi de suite, en opérant successivement avec des solutions contenant, en volume, 90, 85, 80, etc., d'alcool pour 100. Les points ainsi déterminés étant très rapprochés, on peut, sans erreur sensible, partager en 5 parties égales l'intervalle compris entre deux points consécutifs. — Si, dans un mélange d'alcool et d'eau, l'instrument s'enfonce jusqu'à la division 78, ce mélange contiendra, en volume, 78 d'alcool pour 100.

Il est intéressant de remarquer combien sont différentes les grandeurs des divisions ainsi déterminées par l'expérience : les degrés voisins du zéro sont beaucoup plus petits, comme le montre la figure 86, que les degrés voisins du 100° degré.

L'instrument ayant été gradué à la température de 15°, ses indications doivent subir des corrections quand on en fait usage à une autre température. Gay-Lussac a donné des tables qui permettent d'effectuer ces corrections : elles peuvent conduire à modifier, de plusieurs unités, les indications fournies par l'instrument.

111. **Pèse-sels centésimaux.** — Lorsqu'on a besoin de déterminer la richesse de solutions diverses d'un même sel, on peut graduer un *pèse-sels* centésimal pour cet usage, en se servant de *ce sel lui-même*, comme on s'est servi de l'alcool pour graduer l'alcoomètre. C'est ce qu'on fait dans quelques fabriques, et c'est ainsi encore qu'on a pu construire des *pèse-vins*, des *pèse-laits*, etc. — Mais la confiance qu'on peut avoir dans ces instruments est toujours subordonnée à l'hypothèse que le liquide soumis à l'essai ne contient aucune matière étrangère.



Fig. 86.
Alcoomètre
de Gay-Lussac.