

V. La pression de *bas en haut*, que l'on appelle *poussée* des liquides, est égale au poids d'une colonne de liquide qui aurait pour base la surface pressée et pour hauteur la distance de cette surface au niveau du liquide.

VI. Les pressions latérales qu'exercent les liquides sur les parois des vases sont égales, pour chaque élément de surface pressée, au poids d'une colonne de liquide qui aurait pour base cet élément, et pour hauteur la distance de son centre de gravité à la surface libre du liquide.

VII. La *presse hydraulique* est un appareil destiné à développer de fortes pressions. Elle repose sur le principe d'égalité de pression.

VIII. Quand plusieurs liquides de densités différentes sont contenus dans un même vase, ils se superposent de bas en haut dans l'ordre de leurs densités.

IX. Pour qu'un liquide homogène soit en équilibre dans deux ou plusieurs vases communiquants, il faut que les niveaux de ce liquide, dans les différents vases, soient tous à la même hauteur, c'est-à-dire sur un même plan horizontal. Le *niveau d'eau* dont on se sert pour prendre des nivellements de terrain repose sur ce principe.

X. Lorsque deux liquides de densités différentes et sans action chimique l'un sur l'autre sont contenus dans deux vases communiquants, les hauteurs des colonnes liquides qui se font équilibre sont en raison inverse de leurs densités.

## CHAPITRE VI.

Principe d'Archimède. — Poids spécifiques. — Aréomètres. — Phénomènes capillaires. — Endosmose et exosmose.

### Principe d'Archimède.

87. *Principe d'Archimède.* — L'équilibre des corps plongés dans les liquides repose sur le principe suivant, découvert par Archimède : *Tout corps plongé dans un liquide subit de la part de ce dernier une poussée dirigée verticalement, de bas en haut, et égale au poids du volume de liquide déplacé*, ce que l'on peut exprimer encore en disant que *tout corps plongé dans un liquide*

*perd une partie de son poids égale au poids du volume de liquide qu'il déplace.*

Ce principe qui, ainsi que nous le verrons plus loin, s'applique également aux gaz, peut se démontrer de deux manières : par le *raisonnement* et par l'*expérience*.

1<sup>o</sup> *Démonstration par le raisonnement.* Soit (fig. 58) une masse de liquide en équilibre ABCD. Supposons qu'une partie quelconque de cette masse *m* se solidifie sans changer de densité : il est évident que l'équilibre ne sera pas troublé. Or, les pressions que supporte cette portion solidifiée de la part du liquide qui l'enveloppe peuvent se décomposer en pressions horizontales et en pressions verticales agissant perpendiculairement à sa surface. Les premières sont nécessairement détruites, puisqu'elles sont égales pour chacun des points directement opposés. Quant aux pressions verticales, leur résultante, qui n'est autre chose que la *poussée* du liquide, est évidemment égale au poids même de la masse solidifiée *m*, ou, en d'autres termes, *au poids du liquide déplacé*. Si nous remplaçons maintenant la masse *m* par un corps quelconque ayant la même forme, ce corps éprouvera de bas en haut la même pression, et perdra par conséquent une partie de son poids égale au poids du liquide dont il tient la place\*.

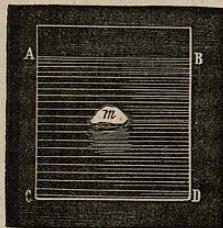


Fig. 58.

2<sup>o</sup> *Démonstration par l'expérience.* On prend (fig. 59) deux petits cylindres métalliques C' et C, dont l'un est plein et l'autre creux. Le premier peut entrer à frottement dans l'autre, de telle sorte que la *capacité du cylindre creux est précisément égale au volume du cylindre plein*. On suspend alors ces deux cylindres à l'un des plateaux A de la *balance hydrostatique\*\**, en ayant

\* Cette expression *perd une partie de son poids* ne veut pas dire que la pesanteur cesse d'agir en partie sur le corps : elle signifie seulement que l'effort nécessaire pour soutenir le corps plongé dans une masse liquide diminue d'une quantité égale au poids du volume de liquide déplacé par le corps.

\*\* Cette balance ne diffère de la balance ordinaire que par un petit crochet soudé au-dessous de chacun des plateaux et par une crémaillère qui permet d'élever ou d'abaisser le fléau à volonté.

soin de placer le cylindre plein au-dessous du cylindre creux ; puis on établit l'équilibre à l'aide de poids posés dans l'autre plateau B. Cela fait, on plonge le cylindre plein dans de l'eau ou dans tout autre liquide EF : l'équilibre est aussitôt détruit à l'avantage du plateau B. Or, pour le rétablir, il suffit de remplir du même liquide le cylindre creux. Donc le poids perdu ou, pour mieux dire, la poussée éprouvée par le cylindre plein pendant son immersion est égal au poids d'un volume de liquide égal au sien.

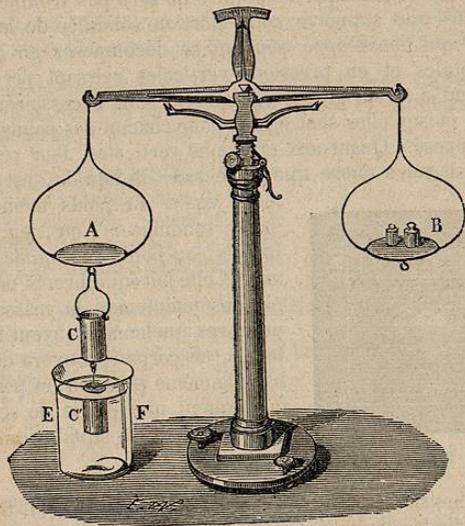


Fig. 59.

88. *Conséquences du principe d'Archimède. Corps flottants. Ludion.* — Quand un corps est plongé dans un liquide, il peut arriver trois cas :

1<sup>er</sup> Cas. Si le corps plongé est plus dense que le liquide, il tombera au fond du vase avec une force égale à la différence entre son poids et le poids du liquide déplacé.

2<sup>e</sup> Cas. Si le corps est de même densité, son poids étant égal à celui du liquide déplacé, il ne pourra ni tomber ni s'élever, et il restera suspendu en équilibre dans la masse liquide.

3<sup>e</sup> Cas. Si le corps plongé est moins dense que le liquide, il remontera à la surface avec une force égale à la différence entre son poids et celui du liquide déplacé. Une partie du corps s'élèvera au-dessus de la surface liquide jusqu'à ce que le poids du liquide déplacé soit égal au poids du corps. Ainsi, *tout corps flottant déplace un volume de liquide dont le poids est égal au sien.*

Le petit instrument de physique amusante connu sous le nom de *ludion* permet de réaliser ces trois cas. Une figurine d'émail (fig. 60) est suspendue au-dessous d'une boule de verre B contenant une certaine quantité d'air, et percée d'un petit trou à sa partie inférieure. Le tout est plongé dans une éprouvette à pied entièrement remplie d'eau et fermée par une membrane tendue. Le ludion, lesté de manière à être moins pesant que l'eau qu'il déplace, se maintient à la partie supérieure de l'éprouvette. Mais

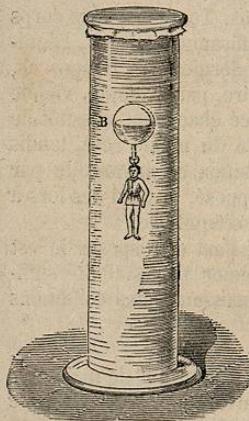


Fig. 60.

si l'on presse la membrane avec le doigt, l'eau pénètre dans la boule en comprimant l'air qui s'y trouve, et l'on voit aussitôt le ludion, dont le poids a augmenté de celui de l'eau introduite, descendre jusqu'au fond de l'éprouvette. Si, pendant qu'il descend, on modère convenablement la pression, il est facile de le maintenir à telle hauteur qu'on veut. Le poids total du petit appareil et de l'eau qu'il contient est alors égal à celui de l'eau déplacée. Enfin, si l'on cesse de presser sur la membrane, la force élastique de l'air intérieur fait sortir de la boule l'eau qui s'y était introduite et la figurine vient reprendre sa place au haut de l'éprouvette.

La *vessie natatoire* des poissons produit des effets analogues à ceux du ludion. Cet organe, placé au-dessous de l'épine dorsale, contient de l'air que le poisson peut, par un effort musculaire, comprimer ou dilater de manière à réduire ou à augmenter son volume, selon qu'il veut descendre ou s'élever au sein des eaux. Presque tous les poissons, à l'exception de ceux qui vivent constamment au fond de l'eau, sont pourvus d'une vessie natatoire.

89. *Équilibre des corps flottants.* — Deux conditions sont nécessaires pour qu'un corps flottant à la surface d'un liquide s'y maintienne en équilibre. Il faut :

- 1° Que le corps déplace un volume de liquide égal au sien ;
- 2° Que le centre de gravité du corps et le centre de pression du liquide déplacé soient sur une même verticale.

Ces deux conditions étant remplies, il est facile de voir que le poids du corps agissant *de haut en bas* et la poussée du liquide agissant *de bas en haut* sont deux forces égales et directement opposées : ces deux forces se font donc équilibre.

L'équilibre des corps flottants peut être *stable* ou *instable*. Il est toujours stable quand le centre de gravité est au-dessous du centre de pression ; il tend au contraire à devenir instable quand le centre de gravité est au-dessus. Toutefois, si le corps flottant présente à l'eau une surface suffisamment large, l'équilibre peut être stable, même dans ce dernier cas. Supposons, en effet, que le corps flottant, un navire, par exemple, vienne à s'incliner d'un côté ; le liquide déplacé changeant aussitôt de forme, son centre de pression se porte du même côté, tandis que le centre de gravité, dont la position est invariable par rapport au navire, se relève du côté opposé, et tend dès lors à ramener celui-ci à sa position normale d'équilibre.

L'arrimage des navires, c'est-à-dire l'art de disposer le lest et la cargaison de manière à leur donner une stabilité suffisante, repose entièrement sur la connaissance des conditions d'équilibre des corps flottants.

90. *Régulateur à eau.* — Cet appareil a pour but de maintenir l'eau dans un bassin à une hauteur invariable. Il se compose d'un flotteur quelconque relié par une chaîne à une vanne. Si l'arrivée d'une trop grande quantité d'eau dans le bassin, après un orage, par exemple, tend à élever son niveau au-dessus de la limite voulue, le flotteur, soulevé par le liquide, fait ouvrir la vanne, et le trop-plein s'écoule aussitôt, jusqu'au moment où l'eau ayant repris dans le bassin son niveau habituel, la vanne retombe et se ferme par son propre poids. C'est par des procédés analogues que l'on utilise la force ascensionnelle des corps flottants pour remettre à flot des bâtiments envasés ou ramener à la surface des objets pesants coulés au fond de l'eau.

Poids spécifiques ou densités des solides et des liquides.

91. *Densité des solides et des liquides.* — Nous avons vu que la densité d'un corps est le rapport de sa masse ou de son poids à son volume (49). Donc, quand deux corps ont le même volume, leurs densités sont proportionnelles à leurs poids.

Il résulte de cette définition que si l'on connaît le poids total  $P$  d'un corps et son volume  $V$ , sa densité sera donnée par la formule

$$D = \frac{P}{V}.$$

En prenant pour unité de poids le *gramme* et pour unité de volume le *centimètre cube*, il sera facile de calculer, d'après cette formule, soit le *poids* d'un corps dont on connaît le volume et la densité, soit le *volume* d'un corps dont on connaît le poids et la densité. On aura pour le poids :  $P = V \times D$ , exprimé en grammes ; et pour le volume,

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

exprimé en centimètres cubes.

Supposons, par exemple, qu'un corps ait pour volume 25 centimètres cubes et pour densité 4 : son poids sera égal à  $25 \times 4$ , c'est-à-dire 100 grammes.

Supposons qu'un corps ait pour poids 250 grammes et pour densité 5 : son volume sera égal à 250 divisé par 5, c'est-à-dire 50 centimètres cubes.

*Remarque.* L'unité de poids, le *gramme*, correspondant à l'unité de volume, c'est-à-dire au *centimètre cube* d'eau distillée, il en résulte que le nombre  $V$  qui exprime le volume d'un corps en centimètres cubes est le même que le nombre  $p$  qui exprime en grammes le poids du même volume d'eau. La formule  $D = \frac{P}{V}$  peut donc s'écrire sous la forme  $D = \frac{P}{p}$ .

C'est sur ce principe que repose la détermination des *densités relatives* ou *poids spécifiques des corps*. Pour les corps solides et les liquides, on prend l'eau distillée comme terme de comparaison, de sorte que la *densité relative* ou le *poids spécifique*

d'un corps solide ou liquide est le rapport de son poids au poids d'un même volume d'eau distillée, la densité de l'eau distillée, à son maximum de densité, étant prise pour unité.

92. Détermination des poids spécifiques des solides. — On emploie deux méthodes principales :

1<sup>re</sup> Méthode : *Balance hydrostatique*. On suspend le corps à l'un des plateaux de la balance au moyen d'un fil très-fin, et on détermine successivement son poids dans l'air et dans l'eau distillée : soient  $P$  le premier poids et  $p$  le second. En vertu du principe d'Archimède, la différence  $P - p$  exprime le poids du volume d'eau déplacé, c'est-à-dire d'un volume d'eau égal à celui du corps. Or, comme à volumes égaux les densités de deux corps sont proportionnelles à leurs poids, on aura

$$d = \frac{P}{P - p},$$

$d$  représentant le poids spécifique du corps.

*Exemple*. Un corps pèse, dans l'air, 64 grammes ; dans l'eau, 52 grammes : on demande son poids spécifique.

La différence des deux pesées  $64 - 52$ , c'est-à-dire 12 grammes, exprimant le poids d'un volume d'eau égal au volume du corps, si l'on appelle  $x$  le poids spécifique cherché, on aura

$$x = \frac{64}{12} = 5,33.$$

2<sup>e</sup> Méthode : *Méthode du flacon*. On se sert d'un flacon ayant la forme représentée par la fig. 61. Le bouchon  $a b$  usé à l'émeri en  $b$  est formé d'un tube effilé ouvert à sa partie supérieure  $a$ . Le flacon étant rempli d'eau distillée, si l'on y introduit le bouchon, une partie du liquide monte dans le tube et sort par l'ouverture  $a$ , de sorte que la capacité intérieure se trouve exactement remplie. Cela fait, on place le flacon, après l'avoir essuyé, sur l'un des plateaux de la balance et, à côté de lui, le corps dont on veut déterminer la densité : on fait la tare dans l'autre plateau avec de la grenaille de plomb. L'équilibre étant établi, on enlève le corps et on le remplace par des poids marqués, ce qui donne le poids  $P$  du corps par double pesée (64). On retire alors les poids marqués, puis on introduit le corps dans le flacon, qu'on rebouche avec précaution. Il est évident que le

corps fait sortir du flacon un volume d'eau égal au sien. Ayant essuyé de nouveau le flacon, on le replace sur le plateau de la balance, puis on rétablit l'équilibre avec des poids marqués, lesquels donnent alors le poids  $p$  de l'eau expulsée par le corps. Or, comme les deux volumes, celui du corps et celui de l'eau déplacée, sont égaux, on aura

$$d = \frac{P}{p},$$

*Exemple*. Soit 25 grammes le poids  $P$  du corps dans l'air ; soit 10 grammes le poids  $p$  de l'eau expulsée du flacon, on aura pour la densité ou le poids spécifique  $x$  de ce corps :

$$x = \frac{25}{10} = 2,5$$



Fig. 61.

*Remarque*. Si le corps était soluble dans l'eau, on opérerait de la même manière à l'aide d'un liquide d'une densité connue, comme l'huile, l'alcool, l'éther, etc., dans lequel le corps serait insoluble ; on obtiendrait ainsi sa densité *par rapport au liquide employé*. Il suffirait ensuite, pour avoir sa densité relativement à l'eau, de multiplier ce premier nombre par la densité du liquide dont on se serait servi.

Si le corps est en poudre, il faut avoir soin, après l'avoir plongé dans le flacon, d'expulser l'air qui adhère aux parcelles qui le composent. On se sert pour cela de la machine pneumatique.

Si le corps est très-poreux et que l'on veuille déterminer sa densité sous son volume apparent, on enduit sa surface d'une couche très-mince de cire qui s'oppose à son imbibition\*.

La méthode du flacon permet de mesurer la densité des corps solides plus légers que l'eau, ce qui n'est pas possible avec la balance hydrostatique.

\* On peut se servir encore, pour déterminer le poids spécifique des corps solides, de la méthode suivante, dont l'application est d'une extrême simplicité.

Dans un tube divisé en centimètres cubes on verse une quantité d'eau suffisante pour recouvrir entièrement le corps dont il s'agit de prendre le poids spécifique. Cela fait, on pèse exactement ce corps dans l'air, et l'on marque sur le tube le niveau supérieur de la colonne d'eau. On fait alors tomber le corps solide au fond du tube. Le niveau de l'eau s'élève aussitôt d'une quantité qui représente, en centimètres cubes, le volume du corps immergé. Il ne reste plus, pour connaître son poids spécifique,

95. *Détermination des poids spécifiques des liquides.* — On l'obtient aussi par deux méthodes.

1<sup>re</sup> Méthode : *Balance hydrostatique.* On suspend à l'un des plateaux de la balance un corps solide, soit une boule de verre, à l'aide d'un fil très-fin ; on établit l'équilibre avec une tare, puis on immerge successivement la boule d'abord dans le liquide dont on cherche la densité, puis dans de l'eau distillée. En rétablissant chaque fois l'équilibre par des poids gradués P et p, on obtient ainsi les poids de volumes égaux du liquide et de l'eau, ce qui donne

$$d = \frac{P}{p},$$

*Exemple.* Un corps plongé dans de l'alcool déplace 3<sup>rs</sup>,95 de ce liquide ; le même corps plongé dans de l'eau distillée en déplace 5<sup>rs</sup> : on demande le poids spécifique x de l'alcool.

Les deux volumes d'alcool et d'eau étant égaux, on aura

$$x = \frac{3,95}{5} = 0,79.$$



Fig. 62.

2<sup>e</sup> Méthode : *Méthode du flacon.* On se sert ordinairement d'un petit flacon composé (fig. 62) d'un réservoir cylindrique b surmonté d'un tube capillaire a et d'un autre tube plus gros c qui sert d'entonnoir ; ce tube est muni d'un bouchon de verre, pour le cas où l'on expérimente sur des liquides volatils. Le flacon étant placé vide et bien sec sur le plateau d'une balance, on lui fait équilibre par une tare, puis on le remplit jusqu'en a du liquide dont on cherche la densité. Les poids marqués qu'il faut ajouter pour rétablir l'équilibre donnent le poids P de ce liquide. On répète la même opération avec de l'eau, ce qui donne le poids p du même volume d'eau. On aura, par conséquent :

$$d = \frac{P}{p}.$$

qu'à diviser son poids dans l'air par le nombre de centimètres dont la colonne d'eau s'est élevée dans le tube au-dessus de son niveau primitif. Exemple : l'eau occupait dans le tube 30 centimètres cubes : on y a introduit un morceau de soufre du poids de 18<sup>rs</sup>,27 ; l'eau a monté de 9 centimètres. Divisant le poids du soufre 18<sup>rs</sup>,27 par 9, on a 2,03 pour le poids spécifique du soufre.

*Exemple.* Soit 282 grammes le poids du liquide ainsi obtenu ; soit 320 grammes le poids de l'eau ; le poids spécifique x de ce liquide sera

$$x = \frac{282}{320} = 0,881$$

### Aréomètres.

94. *Aréomètres.* — Nous avons vu précédemment (88) que tout corps flottant en équilibre déplace un volume de liquide dont le poids est égal au sien : d'où il résulte qu'un corps s'enfonce d'autant plus dans un liquide que ce liquide est moins dense. Les aréomètres reposent sur ce principe. Ce sont des appareils flottants destinés à faire connaître les poids spécifiques des corps solides ou liquides, ou à indiquer les variations de densités que les liquides éprouvent par leur mélange avec d'autres corps.

On distingue deux sortes d'aréomètres : 1<sup>o</sup> les aréomètres à volume constant et à poids variable ; 2<sup>o</sup> les aréomètres à poids constant et à volume variable.

1<sup>o</sup> *Aréomètres à volume constant.* Ils sont au nombre de deux, savoir : l'aréomètre de Nicholson, employé pour la détermination des poids spécifiques des corps solides ; l'aréomètre de Fahrenheit, qui sert pour les liquides.

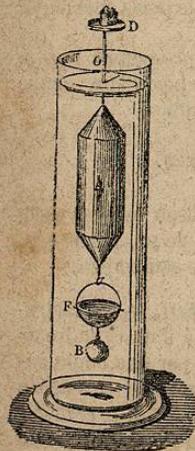


Fig 63.

*Aréomètre de Nicholson.* — Cet instrument (fig. 63) se compose d'un cylindre en fer-blanc ou en cuivre A, terminé à ses deux extrémités par deux cônes. Le cône supérieur est surmonté par une tige qui porte un plateau D destiné à recevoir des poids. Le cône inférieur porte un crochet qui soutient une espèce de corbeille F propre à recevoir les corps solides dont on cherche la densité, et au-dessous de laquelle est une boule B qui sert à lester l'appareil, de telle manière que, plongé dans de l'eau distillée, il s'y maintienne verticalement et ne s'y enfonce qu'en partie. Sur la tige supérieure est marqué un trait o qu'on appelle *point d'affleurement*, parce que, dans toutes les

expériences, l'instrument doit toujours être enfoncé dans l'eau jusqu'à ce point, afin de déplacer un *volume constant* de liquide.

Pour se servir de cet aréomètre, on le plonge dans de l'eau distillée, puis on place le corps dont on veut connaître la densité sur le plateau D; on ajoute ensuite de la grenaille de plomb en quantité suffisante pour déterminer l'affleurement, c'est-à-dire pour faire enfoncer l'instrument jusqu'en *o*. On enlève alors le corps et on le remplace par des poids marqués capables de produire de nouveau l'affleurement. On obtient ainsi le poids *P* du corps par double pesée. Cela fait, on retire les poids marqués et on place le corps dans la corbeille F. Le corps, étant alors plongé dans l'eau, éprouve une poussée égale au poids du volume d'eau déplacé. Il faut donc, pour rétablir l'affleurement, mettre sur le plateau D de nouveaux poids marqués. Or, ceux-ci exprimant le poids *p* d'un volume d'eau égal à celui du corps, on aura

$$d = \frac{P}{p}.$$

*Exemple.* Soit 50 grammes le poids nécessaire pour faire affleurer l'instrument quand on a retiré le corps du plateau supérieur; soit 8 grammes le nouveau poids nécessaire pour rétablir l'affleurement quand le corps est placé dans la capsule inférieure: on demande le poids spécifique *x* de ce corps.

Ces deux nombres représentant l'un le poids du corps, l'autre le poids d'un volume d'eau égal au sien, on aura

$$x = \frac{50}{8} = 6,25.$$

L'aréomètre de Nicholson est fort usité en minéralogie, à cause de sa grande simplicité et de la facilité de son emploi.

*Aréomètre de Fahrenheit.* — Cet instrument (*fig. 64*) est formé d'un cylindre de verre A terminé en bas par une boule pesante B, et surmonté d'une tige très-déliée portant une capsule C destinée à recevoir des poids. Sur cette tige est marqué le point d'affleurement *t*.

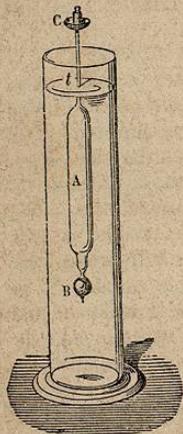


Fig. 64.

Pour se servir de cet aréomètre, il faut d'abord connaître son poids *K*. On le plonge ensuite successivement dans l'eau distillée et dans le liquide dont on veut connaître la densité, en mettant chaque fois dans la capsule les poids nécessaires pour faire affleurer l'instrument. Soient *p* le poids qu'il a fallu pour obtenir l'affleurement dans l'eau, et *P* celui qu'il a fallu pour déterminer le même affleurement dans l'autre liquide. Le poids du volume d'eau déplacé est donc égal à  $K + p$  et celui du liquide à  $K + P$ ; et comme ces volumes sont égaux, on aura

$$d = \frac{K + P}{K + p}.$$

*Exemple.* Soit 400 grammes le poids d'un aréomètre de Fahrenheit; soit 30 grammes le poids nécessaire pour le faire affleurer dans de l'eau distillée; soit 42 grammes le poids nécessaire pour le faire affleurer dans un autre liquide: on demande le poids spécifique de ce liquide.

Les corps flottants déplaçant un volume de liquide dont le poids est égal au leur,  $400 + 30$  représentera le poids du volume d'eau déplacé par l'instrument, et  $400 + 42$  celui du liquide dont on cherche la densité. Ces deux volumes étant égaux, on aura

$$x = \frac{442}{430} = 0,861.$$

*2° Aréomètres à poids constant.* Ces instruments, ou aéromètres proprement dits, sont journellement employés dans le commerce pour estimer, soit la quantité d'alcool que contient une liqueur, soit le degré de concentration d'un acide, d'un sirop, soit la quantité de sel que contient une dissolution. Ils se composent tous d'un cylindre creux en verre C (*fig. 65*), surmonté d'une tige AB, et lesté par une boule plus petite D contenant du mercure ou de la grenaille de plomb. Ces instruments, plongés dans un liquide, s'y enfonceront d'autant plus que ce liquide sera moins dense. Il sera donc facile, au moyen d'une simple graduation

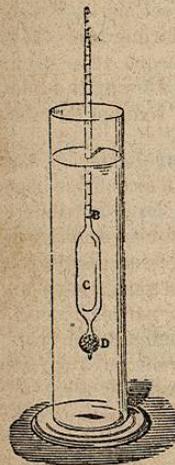


Fig. 65.

tracée sur la tige, d'évaluer la densité relative ou, pour mieux dire, le degré de concentration d'une liqueur, d'un acide, d'une dissolution saline, etc.

Les aréomètres à poids constant que l'on emploie le plus souvent sont l'aréomètre de *Baumé* et l'aréomètre centésimal ou alcoolomètre de *Gay-Lussac*.

*Aréomètre de Baumé.* — Cet aréomètre porte le nom de *pèse-sels*, *pèse-acides*, *pèse-esprits* ou *pèse-liqueurs*, selon sa graduation.

1° S'il doit être employé comme *pèse-sels* ou *pèse-acides*, c'est-à-dire pour des liquides plus denses que l'eau, on lui donne un lest suffisant pour que, plongé dans l'eau pure, il s'enfonce jusqu'au sommet du tube, où l'on marque zéro. On le plonge ensuite dans une dissolution de sel marin contenant 85 parties d'eau et 45 parties de sel, et on marque 45 au point d'affleurement. On divise alors l'intervalle en 45 parties égales ou degrés, et on prolonge la division jusqu'au bas du tube.

2° Si l'instrument doit servir comme *pèse-esprits* ou *pèse-liqueurs*, c'est-à-dire pour des liquides moins denses que l'eau, on dispose son lest de manière que, plongé dans une solution composée de 90 parties d'eau et de 10 parties de sel marin, il s'enfonce jusqu'à la naissance du tube, où l'on marque zéro. On le plonge ensuite dans de l'eau pure et on marque 10 au point d'affleurement; puis on divise l'intervalle en 10 parties égales ou degrés, et on prolonge la division jusqu'au sommet du tube.

*Aréomètre centésimal ou alcoolomètre de Gay-Lussac.* — Cet instrument est destiné à évaluer la quantité d'alcool que contient un liquide spiritueux. Il est construit et lesté de manière que, plongé dans l'alcool pur, il s'enfonce jusqu'au sommet de la tige, où l'on marque 100; puis on le plonge successivement dans des mélanges artificiels d'eau et d'alcool pur contenant, pour 100 parties en volume, 95, 90, 85, 80...., parties d'alcool, et l'on marque 95, 90, 85, 80...., aux points d'affleurement correspondants. On divise ensuite chaque intervalle en 5 parties égales, ce qui donne 100 divisions ou degrés entre le zéro, qui correspond à l'eau distillée, et le nombre 100, qui indique l'alcool absolu. Supposons que l'alcoolomètre plongé dans une liqueur spiritueuse marque 59, nous concluons que cette liqueur contient 59 pour 100 d'alcool.

Toutefois cette graduation ne donne de résultats exacts que pour une température déterminée. Si celle-ci augmente ou diminue, la densité du liquide change, et l'instrument s'enfonce plus ou moins dans une même liqueur alcoolique. Il faut alors faire subir aux indications des corrections indiqués dans des tables construites à cet effet par *Gay-Lussac*.

Tableau des poids spécifiques des principaux corps solides et liquides à la température de 0°.

Corps solides.	Poids spécif.	Corps liquides.	Poids spécif.
Platine,	22,069	Mercure,	13,596
Or,	19,258	Acide sulfurique,	1,841
Plomb,	11,352	Chloroforme,	1,480
Argent,	10,474	Acide chlorhydrique,	1,240
Cuivre,	8,788	Acide azotique,	1,217
Fer,	7,788	Eau de mer,	1,026
Étain,	7,291	Fau distillée à 4°,	1,000
Zinc,	6,861	Huile d'olive,	0,915
Diamant,	3,516	Éther acétique,	0,890
Marbre blanc,	2,837	Essence de citron,	0,889
Cristal de roche,	2,653	Essence de térébenth.	0,870
Soufre,	2,033	Huile de naphte,	0,887
Bois de sapin,	0,657	Alcool absolu,	0,792
Liège,	0,240	Éther sulfurique,	0,715

#### Capillarité. Endosmose, exosmose.

95. *Phénomènes capillaires.* — On désigne sous ce nom certains phénomènes dus au contact des solides avec les liquides, et que l'on observe particulièrement dans des tubes de diamètres très-petits. Ces phénomènes, qui paraissent être en opposition avec les lois de l'équilibre des liquides, sont le résultat des attractions qui s'exercent soit entre les molécules liquides elles-mêmes, soit entre ces molécules et les corps solides. La partie de la physique qui leur est consacrée porte le nom de *capillarité*.

1° Lorsqu'on plonge un tube de verre AB (fig. 66), d'un diamètre suffisamment petit, dans de l'eau ou dans tout autre liquide susceptible de le mouiller, on voit le liquide monter dans

le tube à une hauteur supérieure à celle de sa surface extérieure, et d'autant plus grande que le tube est plus étroit. La surface terminale *mn* du liquide élevé dans le tube est un ménisque *concave*.

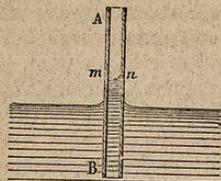


Fig. 66.

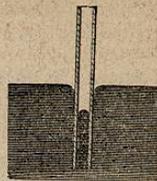


Fig. 67.

2° Si l'on plonge le même tube dans du mercure ou dans tout autre liquide *non susceptible de le mouiller*, un phénomène inverse se produit : le liquide s'abaisse dans le tube au-dessous de son niveau extérieur (*fig. 67*) et sa surface forme un ménisque *convexe*.

Dans le premier cas, la force d'attraction du solide sur le liquide est plus grande que l'attraction mutuelle des molécules liquides combinée avec l'action de la pesanteur; dans le second cas, elle est plus petite. C'est donc du rapport qui existe entre l'attraction du solide sur le liquide et l'attraction du liquide sur lui-même que dépendent les phénomènes capillaires. C'est à Newton que revient l'honneur d'avoir indiqué le premier la véritable cause de ces phénomènes; Laplace et Poisson en ont donné la théorie mathématique complète.

Nous nous bornerons à reproduire ici, d'après Gay-Lussac, l'énoncé des lois auxquelles ils sont soumis.

1° Lorsque le liquide mouille les tubes, il y a ascension; la dépression s'observe dans le cas contraire.

2° L'ascension et la dépression des liquides dans des tubes étroits sont, pour chaque liquide, en raison inverse des diamètres de ces tubes.

3° L'ascension et la dépression varient avec la nature des liquides; mais elles sont indépendantes de la nature du tube et de l'épaisseur de ses parois. Ainsi, dans un tube de verre de 1 millimètre de diamètre, l'eau s'élève à 30<sup>mm</sup>,7; l'alcool à 42<sup>mm</sup>,1; l'éther à 40<sup>mm</sup>,8; le sulfure de carbone à 40<sup>mm</sup>,2.

La capillarité donne l'explication d'une foule de phénomènes

que nous observons journellement. C'est en vertu de cette force que l'huile s'élève dans la mèche d'une lampe; que l'eau pénètre dans un morceau de sucre plongé par un de ses points; que le bois, les éponges, et en général tous les corps qui possèdent des pores sensibles s'imbibent plus ou moins facilement. L'ascension de la sève dans les végétaux y trouve un puissant auxiliaire.

Certains corps, plus pesants que l'eau à volume égal, peuvent flotter à sa surface en vertu d'une action capillaire : tel est le cas d'une aiguille d'acier recouverte d'une couche très-mince de matière grasse. L'eau ne mouillant pas l'aiguille se déprime tout autour d'elle, et il arrive ainsi que le poids du liquide déplacé peut devenir égal ou supérieur à celui de l'aiguille. C'est par un effet semblable que certains insectes se maintiennent et glissent avec rapidité sur l'eau sans s'y enfoncer.

96. *Endosmose et exosmose.* — Lorsque deux liquides hétérogènes, miscibles et de densité différente, sont séparés par une cloison mince et poreuse, telle, par exemple, qu'une vessie ou toute autre membrane organique, il s'établit entre ces deux liquides et à travers la membrane des courants de direction contraire qui tendent à les mélanger.

Pour rendre ce phénomène sensible, on se sert d'un appareil fort simple nommé *endosmomètre*. Cet appareil (*fig. 68*) se compose d'une poche membraneuse A, surmontée d'un tube de verre T, auquel elle est attachée hermétiquement au moyen d'une ligature. Supposons qu'on remplisse la poche d'une solution de sucre, de gomme, d'albumine, etc., et qu'on la plonge dans un vase rempli d'eau pure; on voit bientôt le niveau du liquide s'élever peu à peu dans le tube et s'abaisser dans le vase : d'où il faut conclure qu'une partie de l'eau pure a traversé la membrane pour aller se mélanger avec le liquide intérieur. Mais au bout d'un certain temps on constate que l'eau du vase n'est plus pure et qu'elle renferme une partie de la substance, sucre, gomme ou albumine, que le liquide intérieur tenait en dissolution. Un double courant s'est donc produit : l'un, plus fort, de l'extérieur à l'intérieur, c'est-à-dire du liquide moins dense vers le plus dense; l'autre, plus faible, en sens inverse. Le premier s'appelle *endosmose*, le second *exosmose*.

Si l'on met dans la poche de l'eau pure et dans le vase la solution gommeuse ou sucrée, l'endosmose se produit encore vers la solution, et le niveau s'abaisse cette fois dans le tube, tandis qu'il s'élève dans le vase extérieur.

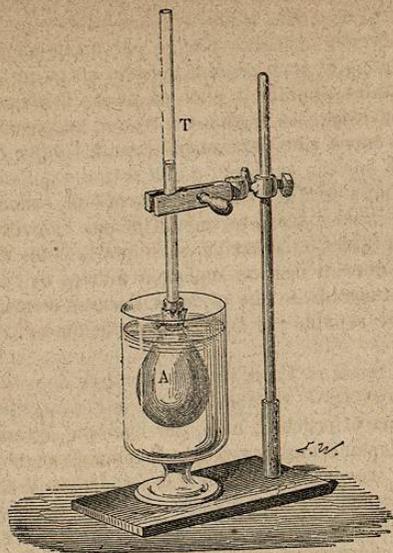


Fig. 68.

La force d'endosmose varie selon la nature des substances dissoutes. De toutes les matières organiques, c'est le sucre et l'albumine qui la possèdent au plus haut degré. En général, c'est du liquide le moins dense vers le plus dense que se dirige le courant d'endosmose. L'alcool et les éthers font cependant exception relativement à l'eau : ainsi, si l'on met de l'alcool dans la poche de l'endosmomètre et de l'eau dans le vase extérieur, l'endosmose s'établit de l'eau vers l'alcool, bien que ce liquide soit moins dense que l'eau.

L'endosmose et l'exosmose jouent un très-grand rôle dans plusieurs phénomènes de la physiologie animale ou végétale, particulièrement dans ceux qui ont rapport à l'absorption et à la nutrition. Diverses hypothèses ont été proposées pour expliquer l'endosmose ; mais, jusqu'à présent, aucune théorie satisfaisante n'en a été donnée.

97. *Problèmes d'hydrostatique.* — 1. On demande le volume d'un corps de forme quelconque pesant 528 grammes dans l'air

et 406 grammes dans l'eau distillée, à son maximum de densité.

La différence des poids 528 — 406, c'est-à-dire 122 grammes, exprime le poids d'un volume d'eau égal au volume du corps. Or, un centimètre cube d'eau distillée, à son maximum de densité, pesant un gramme, le volume cherché est égal à 122 centimètres cubes.

Donc, pour avoir le volume d'un corps de forme quelconque il suffit de déterminer, soit par la balance hydrostatique, soit par la méthode du flacon (92), le poids d'un volume d'eau égal au sien ; ce poids exprimé en grammes donne immédiatement le volume du corps en centimètres cubes. Si la densité du corps était connue, il suffirait, comme nous l'avons vu (91), de diviser son poids dans l'air par le nombre exprimant cette densité.

2. Un lingot formé d'un alliage d'or et d'argent pèse 4000 grammes dans l'air et 942 grammes dans l'eau : on demande combien il contient de grammes de chaque métal, sachant que la densité de l'or est 19,25 et celle de l'argent 10,47.

Puisque la densité de l'or est 19,25, la perte de poids que ce métal éprouve dans l'eau est égale à  $\frac{1}{19,25}$ . On trouve de même que l'argent perd dans l'eau  $\frac{1}{10,47}$  de son poids.

Or, si nous désignons par  $x$  le poids de l'or et par  $y$  le poids de l'argent qui composent le lingot, nous aurons

$$x + y = 4000.$$

La perte totale de poids que subit le lingot plongé dans l'eau étant de 58 grammes, nous aurons également

$$\frac{x}{19,25} + \frac{y}{10,47} = 58.$$

En effectuant le calcul, on trouvera

$$\begin{array}{r} x = 861^{\text{r}},075 \\ y = 138^{\text{r}},925 \\ \hline 1000^{\text{r}},000 \end{array}$$