

ce savant recouvrait d'argent un fil de platine de $\frac{1}{4}$ de millimètre de diamètre, de manière à obtenir un cylindre de 3 millimètres de grosseur, dont l'axe seul était de platine. En tirant ce cylindre à la filière jusqu'à ce qu'il fût aussi fin que possible, les deux métaux s'allongeaient également. Faisant alors bouillir le fil dans l'acide azotique, l'argent était dissous, et le fil de platine restait seul. 4000 mètres de ce fil ne pesaient que 3 centigrammes.

74. **Dureté.** — La *dureté* est la résistance qu'offrent les corps à être rayés ou usés par d'autres corps.

Cette propriété n'est que relative, car un corps dur par rapport à une substance, est mou par rapport à une autre. On distingue la dureté relative de deux corps en cherchant celui qui raye l'autre sans en être rayé. On a constaté ainsi que le plus dur de tous les corps est le diamant, car il les raye tous et n'est rayé par aucun. Après lui viennent le saphir, le rubis, le cristal de roche, les silex, les grès, etc. Les métaux à l'état de pureté sont assez mous.

Les alliages sont plus durs que leurs métaux. C'est pour augmenter la dureté de l'or et de l'argent, dans la bijouterie et dans la fabrication des monnaies, qu'on les allie avec le cuivre.

La dureté d'un corps n'est pas en rapport avec sa résistance à la pression. Le verre, le diamant, sont beaucoup plus durs que le bois, mais ils résistent beaucoup moins au choc du marteau.

La dureté des corps est utilisée dans les poudres à polir, telles que l'émeri, la ponce, le tripoli. Le diamant, étant le plus dur de tous les corps, ne peut s'user qu'à l'aide de l'*égrisée*, qui n'est elle-même que du diamant pulvérisé.

75. **Trempe.** — La *trempe* est le refroidissement brusque d'un corps après qu'il a été porté à une température élevée. Dans cette opération, l'acier et la fonte acquièrent une grande dureté, et c'est surtout dans ce but que la trempe est utilisée. Tous les instruments tranchants sont d'acier trempé. Mais il est des corps sur lesquels la trempe produit un effet tout opposé. L'alliage des *tamtams*, qui est composé d'une partie d'étain sur 4 de cuivre, devient ductile et malléable lorsqu'il est refroidi brusquement; au contraire, il est dur et fragile comme le verre lorsqu'il est refroidi avec lenteur.

LIVRE III

DES LIQUIDES.

CHAPITRE PREMIER.

HYDROSTATIQUE.

76. **Objet de l'hydrostatique.** — L'*hydrostatique* est la science qui a pour objet l'étude des conditions d'équilibre des liquides et celle des pressions qu'ils transmettent, soit dans leur masse, soit sur les parois des vases qui les contiennent.

La science qui traite du mouvement des liquides se nomme *hydrodynamique*, et l'application des principes de cette dernière science à l'art de conduire et d'élever les eaux se désigne spécialement sous le nom d'*hydraulique*. Nous ne traiterons ici que de l'hydrostatique.

77. **Caractères généraux des liquides.** — On a déjà vu (5) que les liquides sont des corps dont les molécules, par suite d'une extrême mobilité, cèdent au plus léger effort qui tend à les déplacer; d'où il résulte que ces corps n'affectent aucune forme stable, et qu'obéissant sans cesse à l'action de la pesanteur, ils prennent immédiatement la forme des vases dans lesquels on les verse. Leur fluidité n'est cependant pas parfaite: il existe toujours entre leurs molécules une adhérence qui produit une viscosité plus ou moins grande. Cette viscosité varie, du reste, d'un liquide à un autre: à peu près nulle dans certains liquides, comme l'éther, l'alcool, elle est très-apparente dans l'acide sulfurique, dans les huiles grasses et dans les liqueurs fortement sucrées ou gommées.

La fluidité des liquides se retrouve, mais à un plus haut degré, dans les gaz; ce qui distingue ces deux espèces de corps, c'est que les liquides ne sont doués que d'une compressibilité et d'une élasticité à peine sensibles, tandis que les fluides aériformes sont éminemment compressibles et expansibles.

La fluidité des liquides est démontrée par la facilité avec la-

quelle ces corps s'écoulent et prennent toutes sortes de formes; quant à leur faible compressibilité, elle se constate par l'expérience suivante.

78. Compressibilité des liquides. — D'après l'expérience des académiciens de Florence rapportée précédemment (15), on a regardé longtemps les Liquides comme complètement incompressibles. Depuis, des recherches sur le même sujet ont été faites successivement, en Angleterre, par Canton, en 1761, et par Perkins, en 1819; à Copenhague, par Ersted, en 1823; par Colladon et Sturm, à Genève, en 1827; par M. Regnault, en 1847; et depuis par M. Grassi. Or, il a été constaté, dans ces diverses expériences, que les liquides sont tous plus ou moins compressibles.

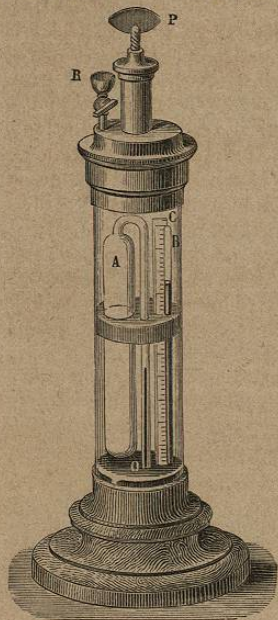


Fig. 32 (h = 64).

Les appareils destinés à mesurer la compressibilité des liquides ont reçu le nom de *piézomètres*. Nous allons décrire ici celui d'Ersted avec les modifications qui y ont été faites par MM. Despretz et Saigey. Cet appareil se compose d'un cylindre de cristal à parois épaisses, d'un diamètre de 8 à 9 centimètres (fig. 32). Ce cylindre, qui est complètement rempli d'eau, est fermé, à sa base, par un pied de bois, dans lequel il est solidement mastiqué; à sa partie supérieure, il s'ajuste dans une garniture cylindrique de cuivre, fermée par un plateau qui se dévisse à volonté. Ce plateau porte un entonnoir R, destiné à introduire l'eau dans le cylindre, et un petit corps de pompe dans lequel est un piston fermant hermétiquement et qu'on fait marcher au moyen d'une vis de pression P.

Dans l'intérieur de l'appareil est un réservoir de verre A, rempli du liquide à comprimer. Ce réservoir se termine, à sa partie supérieure, par un tube capillaire qui se recourbe et vient plonger dans un bain de mercure O. Ce tube a été divisé d'avance en n parties d'égale capacité, et l'on a déterminé le nombre N de ces parties contenues dans le réservoir A. Pour cela, soient p le poids de mercure à zéro contenu dans les n divisions du tube capillaire,

et P le poids du même liquide contenu dans le réservoir A à la même température; on a l'égalité $\frac{N}{n} = \frac{P}{p}$, d'où $N = \frac{Pn}{p}$.

Enfin, dans l'intérieur du cylindre, est un *manomètre à air comprimé*. On nomme ainsi un tube de verre B, plein d'air; le bout supérieur est fermé, et le bout inférieur, qui est ouvert, plonge dans le bain de mercure O. Lorsqu'on n'exerce aucune pression sur l'eau qui remplit l'appareil, le tube B est complètement plein d'air; mais lorsqu'au moyen de la vis P et du piston, on comprime l'eau, la pression se transmet au mercure, qui s'élève dans le tube B en comprimant l'air qu'il contient. Une échelle graduée C, placée le long de ce tube, indique la réduction de volume de l'air, et c'est d'après cette réduction de volume qu'on apprécie la pression exercée sur le liquide contenu dans le cylindre, ainsi qu'il sera démontré en traitant du manomètre (158).

Pour expérimenter avec le piézomètre, on commence par remplir le réservoir A du liquide à comprimer; puis, par l'entonnoir R, on remplit d'eau le cylindre. Tournant alors la vis P de manière à faire descendre le piston, celui-ci exerce une pression sur l'eau et le mercure qui sont dans l'appareil, et, par l'effet de cette pression, non-seulement le mercure s'élève dans le tube B, mais aussi dans le tube capillaire soudé au réservoir A, ainsi que le montre le dessin. Cette ascension du mercure dans le tube capillaire indique que le liquide renfermé dans le réservoir a diminué de volume, et donne la mesure de sa contraction; car si l'on représente par n' le nombre de divisions dont le mercure s'est élevé dans le tube capillaire, et par F la pression en atmosphères

(156) marquée par le manomètre, $\frac{n'}{N+n}$ est évidemment la contrac-

tion pour l'unité de volume, et $\frac{n'}{(N+n)F}$ la contraction pour l'u-

nité de volume et l'unité de pression, c'est-à-dire le *coefficient de compressibilité*. Toutefois ce n'est là que la compressibilité *apparente*. En effet, Ersted, dans ses expériences, avait supposé que la capacité du réservoir A demeurait invariable, ses parois étant également comprimées intérieurement et extérieurement par le liquide (79). Mais l'analyse mathématique prouve que ce volume diminue par l'effet des pressions extérieure et intérieure. C'est en tenant compte de ce changement de capacité que les expériences de Colladon et Sturm ont été faites. Ces savants ont ainsi trouvé, pour une pression égale au poids de l'atmosphère, et à la température de zéro, les coefficients de compressibilité absolue suivants :

Mercure.	5	millionièmes.
Eau distillée non privée d'air.	49	—
Eau distillée privée d'air.	51	—
Éther sulfurique.	133	—

Ils ont de plus observé, pour l'eau et le mercure, que, dans de certaines limites, le décroissement de volume est proportionnel à la pression.

Quelle que soit la compression à laquelle on ait soumis un liquide, l'expérience fait voir qu'aussitôt que l'excès de pression cesse, le liquide revient exactement à son volume primitif; d'où l'on conclut que *les liquides sont parfaitement élastiques*.

79. **Principe d'égalité de pression, ou principe de Pascal.** — En regardant les liquides comme parfaitement élastiques, doués

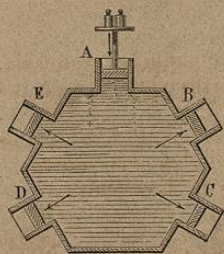


Fig. 33.

d'une fluidité parfaite, et en les supposant soustraits à l'action de la pesanteur, on a été conduit au principe suivant, connu sous le nom de *principe d'égalité de pression*, et aussi sous celui de *principe de Pascal*, parce qu'il a été posé pour la première fois par le célèbre écrivain et géomètre Blaise Pascal :
Une pression exercée sur une surface plane quelconque d'un liquide se transmet en tous sens, avec la même intensité, sur toute surface égale à celle qui reçoit la pression.

Pour interpréter cet énoncé, concevons un vase de forme quelconque, rempli d'eau ou de tout autre liquide que nous supposons sans poids, et soient, sur les parois de ce vase, diverses tubulures cylindriques A, B, C, . . . fermées par des pistons mobiles (fig. 33). Si, sur le piston supérieur A, on exerce, de dehors en dedans, une pression quelconque, de 20 kilogrammes, par exemple, instantanément cette pression se transmet sur la face interne des pistons B, C, . . . qui, tous, sont poussés de dehors en dedans par une pression 20, si leur surface égale celle du premier piston; mais pour des surfaces deux, trois fois plus grandes, la pression transmise est 40 ou 60 kilogrammes, c'est-à-dire que non-seulement la pression se transmet également dans tous les sens, mais est *proportionnelle à la surface qui la reçoit*. Telle est la double signification qu'il faut attacher au principe ci-dessus, qui sert de base à toute l'hydrostatique.

Le principe d'égalité de pression doit être admis comme une conséquence de la constitution des liquides. Toutefois on peut,

par l'expérience suivante, démontrer que la pression se transmet, en effet, dans tous les sens. Un tube dans lequel glisse un piston (fig. 34) est terminé par une sphère creuse sur laquelle sont placés de petits ajutages cylindriques perpendiculaires à ses parois.

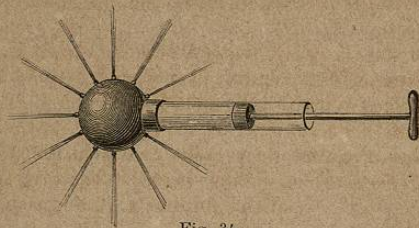


Fig. 34.

La sphère et le cylindre étant remplis d'eau, on pousse le piston, et le liquide jaillit par tous les orifices, et non pas seulement par celui qui est opposé au piston.

Quant à la proportionnalité des pressions aux surfaces, on ne peut en donner une démonstration expérimentale rigoureuse, à cause de l'influence du poids des liquides et du frottement des pistons. Cependant on arrive à une vérification approchée par l'expérience représentée dans la figure 35. Deux cylindres d'inégal diamètre, réunis par une tubulure, sont remplis d'eau, et sur la surface du liquide reposent deux pistons P et p, qui ferment hermétiquement les cylindres, mais qui peuvent glisser dans ceux-ci à frottement très-doux.

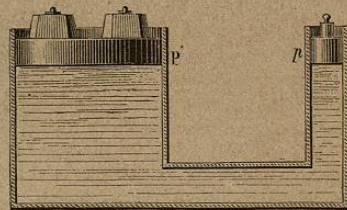


Fig. 35.

Enfin, supposons que la surface du grand piston égale, par exemple, trente fois celle du petit. Cela posé, si l'on place sur celui-ci un poids quelconque, soit 2 kilogrammes, aussitôt la pression résultante se transmet à l'eau et au grand piston, et comme cette pression est de 2 kilogrammes sur chaque portion de surface égale à celle du petit piston, il en résulte que le grand doit supporter de bas en haut une poussée de 30 fois 2, ou de 60 kilogrammes. En effet, si l'on charge le grand piston de ce poids, on remarque que l'équilibre persiste; mais pour une charge sensiblement plus grande ou plus petite, l'équilibre est rompu. En représentant par S et s les surfaces du grand et du petit piston, on peut donc poser

$$\frac{P}{p} = \frac{S}{s}, \text{ d'où } P = \frac{pS}{s}.$$

Dans tout ce qui suit sur les pressions transmises par les liquides aux parois des vases qui les contiennent, il importe d'observer que ces pressions devront toujours être supposées *perpendiculaires à ces parois*. En effet, toute pression oblique peut être décomposée en deux autres (29), l'une perpendiculaire à la paroi, et l'autre dirigée dans son plan; or, cette dernière étant sans effet sur la paroi, c'est seulement la pression perpendiculaire qu'on a à considérer.

Il est encore à observer que tout ce qu'on vient de dire du principe de Pascal ne s'applique pas seulement aux parois des vases, mais aux molécules liquides en un point quelconque de la masse.

PRESSIONS DÉVELOPPÉES DANS LES LIQUIDES
PAR LA PESANTEUR.

80. **Pression verticale de haut en bas, ses lois.** — Un liquide quelconque étant en repos dans un vase, si on le suppose partagé en tranches horizontales d'égale épaisseur, il est évident que chacune supporte le poids des tranches qui sont au-dessus d'elle. L'action de la pesanteur fait donc naître, dans la masse du liquide, des pressions intérieures variables d'un point à un autre. Ces pressions sont soumises aux lois générales suivantes :

- 1^o La pression, sur chaque tranche, est proportionnelle à la profondeur.
- 2^o Pour une même profondeur, dans des liquides différents, la pression est proportionnelle à la densité du liquide.
- 3^o La pression est la même sur tous les points d'une même tranche horizontale.

Les deux premières lois peuvent être admises comme évidentes; la troisième est une conséquence de la première.

81. **Pression verticale de bas en haut.** — La pression que les tranches supérieures d'un liquide exercent sur les tranches inférieures fait naître dans celles-ci, de bas en haut, une réaction égale et contraire, qui est une conséquence du principe de la transmission de pression en tous sens. Cette pression de bas en haut se désigne sous le nom de *poussée des liquides*. Elle est très-sensible lorsqu'on plonge la main dans un liquide, surtout s'il a une grande densité, comme le mercure.

Pour la constater par l'expérience, on se sert d'un tube de verre A ouvert à ses deux extrémités (fig. 36). Après avoir appliqué contre l'extrémité inférieure un disque de verre O, qui sert d'obturateur, et qu'on soutient d'abord à l'aide d'un fil C, qui y est fixé, on plonge le tout dans l'eau, puis on abandonne le fil à lui-même. L'obturateur reste alors appliqué contre le tube, ce qui indique déjà qu'il supporte, de bas en haut, une pression supérieure à son poids. Enfin, si l'on verse lentement de l'eau dans le tube, le disque supporte le poids de ce liquide, et il ne tombe qu'au moment où le niveau de l'eau, à l'intérieur, est le même qu'à l'extérieur; ce qui démontre que la pression de bas en haut, qui s'exerce sur le disque, est égale au poids d'une colonne d'eau ayant pour base la section intérieure du tube A, et pour hauteur la distance verticale du disque à la surface supérieure du liquide dans lequel plonge le tube.

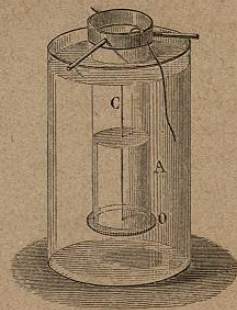


Fig. 36 (h = 20).

On conclut de là que la *poussée des liquides, en un point quelconque de leur masse, est soumise aux trois mêmes lois que la pression verticale de haut en bas* (80).

82. **La pression est indépendante de la forme des vases.** — La pression exercée par un liquide, en vertu de son poids, sur un point quelconque de sa masse ou sur les parois du vase qui le contient, dépend, comme on l'a vu ci-dessus (80), de la profondeur et de la densité du liquide, mais elle est indépendante de la forme du vase et de la quantité de liquide.

Ce principe, qui est une conséquence du principe d'égalité de pression, peut se démontrer expérimentalement à l'aide de plusieurs appareils; nous en décrirons ici deux également en usage dans les cours de physique: celui de de Haldat (fig. 37), et celui qu'avait donné Pascal, représenté dans la figure 38 tel qu'il a été modifié par Masson.

L'appareil de de Haldat se compose d'un tube coudé ABC, terminé, en A, par un robinet de cuivre sur lequel on peut visser successivement deux vases M et P, de même hauteur, mais de forme et de capacité différentes, le premier étant conique, et le second à peu près cylindrique. Pour faire l'expérience, on commence par verser du mercure dans le tube ABC, de manière que son niveau n'atteigne pas tout à fait le robinet A. On visse alors sur le tube le vase M, qu'on remplit d'eau; celle-ci, par son poids, refoule le

mercure et l'élève dans le tube C, où l'on repère son niveau au moyen d'une virole *a*, qui peut glisser le long du tube. On marque de même le niveau de l'eau dans le vase M à l'aide d'une tige mobile *o* placée au-dessus. Cela fait, on vide le vase M au moyen du robinet, on le dévisse et on le remplace par le vase P. Versant enfin de l'eau dans celui-ci, on voit le mercure, qui avait repris son premier niveau dans les deux branches du tube ABC, s'élever

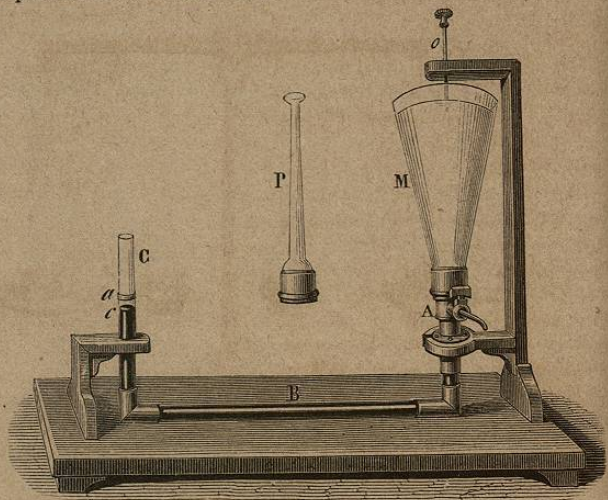


Fig. 37 (h = 72).

de nouveau dans le tube C, et au moment où, dans le vase P, l'eau atteint la même hauteur qu'elle avait dans le vase M, ce qu'on reconnaît au moyen de la tige *o*, le mercure reprend dans le tube C le même niveau que dans le premier cas, ce qu'indique la virole *a*. On conclut de là que, dans les deux cas, la pression transmise au mercure dans la direction ABC est la même. Cette pression est donc indépendante de la forme du vase, et par conséquent de la quantité de liquide. Quant au fond du vase, il est évidemment le même dans les deux cas, c'est-à-dire la surface du mercure dans l'intérieur du tube A.

Dans l'appareil de Masson (fig. 38), la pression de l'eau contenue dans le vase M ne s'exerce plus sur une colonne de mercure, comme dans celui de de Haldat, mais sur un petit disque ou obturateur *a*, qui ferme une tubulure *c* sur laquelle est vissé le vase M.

Ce disque n'est pas fixé à la tubulure, mais seulement soutenu par un fil attaché à l'extrémité du fléau d'une balance. A l'autre extrémité est un bassin dans lequel on met des poids jusqu'à ce qu'ils fassent équilibre à la pression exercée par l'eau sur l'obturateur. Vidant alors le vase M, on le dévisse et l'on met à sa place le tube étroit P. Or, si l'on remplit celui-ci d'eau à la même hauteur que l'était le grand vase, ce qu'on reconnaît au moyen du

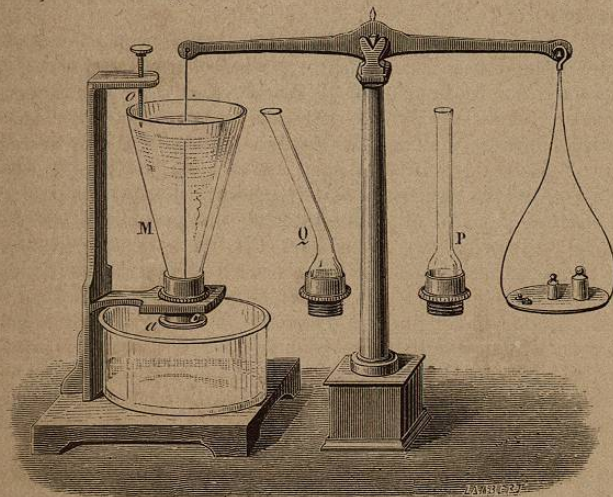


Fig. 38.

repère *o*, on observe que pour soutenir l'obturateur, il faut juste mettre dans le plateau le même poids qu'auparavant, ce qui conduit à la même conclusion que l'expérience de de Haldat. Même résultat, si au lieu du tube vertical P, on visse sur la tubulure *o* le tube oblique Q.

Il résulte des deux expériences qui précèdent qu'avec une très-petite quantité de liquide on peut produire des pressions considérables. Pour cela, il suffit de fixer, à la paroi d'un vase fermé et plein d'eau, un tube d'un petit diamètre et d'une grande hauteur. Ce tube étant rempli d'eau, la pression transmise sur la paroi du vase est égale au poids d'une colonne d'eau qui aurait pour base cette paroi et une hauteur égale à celle du tube. On peut donc la rendre aussi grande qu'on voudra. Pascal est parvenu ainsi, avec un simple filet d'eau de 10 mètres de hauteur, à faire éclater un tonneau solidement construit.

D'après le principe qui vient d'être démontré, on peut facilement calculer les pressions qui se produisent au fond des mers. En effet, il sera démontré bientôt que la pression de l'atmosphère équivaut à celle d'une colonne d'eau de 10 mètres. Or, les navigateurs ont souvent observé que la sonde n'atteignait pas le fond des mers à une profondeur de 4000 mètres. C'est donc une pression de plus de 400 fois celle de l'atmosphère qui s'exerce au fond de certaines mers.

83. **Pression sur les parois latérales.** — Les pressions que fait naître la pesanteur dans la masse des liquides se transmettant en tous sens, d'après le principe de Pascal, il en résulte, en chaque point des parois latérales, des pressions soumises aux lois données précédemment (80), et agissant toujours perpendiculairement à ces parois, quelle que soit leur forme; car on a déjà vu (79) que toute pression oblique à une paroi se décompose en deux, l'une perpendiculaire à la paroi et produisant seule une pression, l'autre parallèle et ne produisant aucun effet. C'est la résultante de toutes ces pressions qui représente la pression totale sur la paroi; mais ces pressions croissant proportionnellement à la profondeur et aussi proportionnellement à l'étendue de la paroi dans le sens horizontal, leur résultante ne peut se trouver que par le calcul, qui fait voir que la pression totale, sur une portion de paroi déterminée, est égale au poids d'une colonne liquide qui aurait pour base cette portion de paroi et pour hauteur la distance verticale de son centre de gravité à la surface libre du liquide.

Quant au point d'application de cette pression totale, point qu'on désigne sous le nom de *centre de pression*, il est toujours un peu au-dessous du centre de gravité de la paroi. En effet, si les pressions exercées sur les différents points de la paroi étaient égales entre elles, il est évident que le point d'application de leur résultante, c'est-à-dire le centre de pression, coïnciderait avec le centre de gravité de cette paroi; mais comme ces pressions croissent avec la profondeur, le centre de pression se trouve nécessairement abaissé au-dessous du centre de gravité. La position de ce point se détermine par le calcul, qui conduit aux résultats suivants. 1° Sur une paroi rectangulaire, dont le bord supérieur est à fleur d'eau, le centre de pression est situé, du haut en bas, aux deux tiers de la ligne qui joint les milieux des côtés horizontaux. 2° Sur une paroi triangulaire dont la base est horizontale et à fleur d'eau, le centre de pression est au milieu de la ligne qui joint le sommet du triangle avec le milieu de cette base. 3° Si, la paroi étant encore triangulaire, le sommet est à fleur d'eau et la base horizontale, le centre de pression se trouve sur

la ligne qui joint le milieu de cette base au sommet, et aux trois quarts à partir de ce point.

84. **Tourniquet hydraulique.** — Lorsqu'un liquide est en équilibre dans un vase, il se produit sur les parois opposées, suivant chaque tranche horizontale, des pressions égales et contraires deux à deux, qui se détruisent, en sorte que rien n'indique alors l'existence de ces pressions; mais on les constate au moyen du *tourniquet hydraulique*. Cet appareil se compose d'un vase de verre M (fig. 39), qui repose sur un pivot, de manière à pouvoir tourner librement autour d'un axe vertical. Ce vase porte, à sa partie inférieure, perpendiculairement à son axe, un tube de cuivre C, coudé horizontalement et en sens contraire, à ses deux extrémités. L'appareil étant rempli d'eau, il en résulte, sur les parois du tube C, des pressions intérieures qui se détruiraient comme égales et contraires deux à deux, si le tube était complètement fermé. Mais celui-ci étant ouvert à ses deux extrémités, le liquide s'écoule, et dès lors la pression

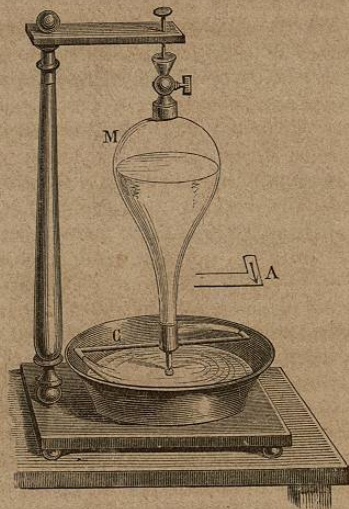


Fig. 39 (h = 62).

ne s'exerce plus aux orifices ouverts, mais seulement sur la portion de paroi opposée A, ainsi qu'il est représenté sur la droite du dessin. La pression qui s'exerce en A n'étant plus équilibrée par la pression opposée, imprime au tube et à tout l'appareil un mouvement de rotation dans le sens de la flèche, mouvement qui est d'autant plus rapide, que la hauteur du liquide, dans le vase, est plus grande, et que la section des orifices de sortie présente plus de surface.

Les pressions latérales ont reçu une importante application dans les moteurs hydrauliques connus sous le nom de *roues à réaction*.

85. **Paradoxe hydrostatique.** — On a vu ci-dessus (82) que la pression sur le fond d'un vase plein de liquide ne dépend, ni de la forme du vase, ni de la quantité de liquide, mais seulement de la hauteur de celui-ci au-dessus du fond. Or, on ne doit pas con-

fondre la pression ainsi exercée sur le fond avec celle que le vase lui-même exerce sur le corps qui lui sert de support. Cette dernière est toujours égale au poids total du vase et du liquide qu'il contient, tandis que la première peut être plus grande que ce poids, plus petite ou égale, suivant la forme du vase.

Par exemple, soient trois vases A, B, C (fig. 40, 41 et 42), de même fond, mais de formes différentes, remplis d'eau jusqu'à la même hauteur. La pression sur le fond des vases est la même dans les trois cas, mais celle transmise par les vases au support qui les soutient, est variable. En effet, si dans le vase B on décompose les pressions normales aux parois en pressions horizon-

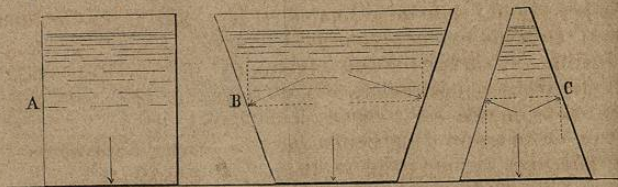


Fig. 40.

Fig. 41.

Fig. 42.

tales et en pressions verticales, les premières se détruisent deux à deux; tandis que les pressions verticales s'ajoutant à celles qui s'exercent sur le fond, c'est la somme de toutes ces pressions qui s'exerce sur le support; celui-ci est donc plus pressé qu'il ne le serait par le vase A, quoique la pression sur le fond soit la même dans les deux cas. Au contraire, dans le vase C, les pressions verticales étant dirigées en sens contraire des pressions sur le fond, c'est seulement la différence de ces pressions qui se transmet au support du vase; d'où ce support est moins pressé qu'il ne le serait dans le cas du vase A.

Cette contradiction apparente entre la pression exercée sur le fond d'un vase par le liquide qu'il contient, et celle exercée sur le support qui soutient le vase, se désigne sous le nom de *paradoxe hydrostatique*.

CONDITIONS D'ÉQUILIBRE DES LIQUIDES.

86. **Équilibre d'un liquide dans un seul vase.** — Pour qu'un liquide demeure en équilibre dans un vase de forme quelconque, il doit satisfaire aux deux conditions suivantes :

1° *Sa surface, en chaque point, doit être perpendiculaire à la direction de la résultante des forces qui sollicitent les molécules du liquide.*

2° *Une molécule quelconque, prise dans la masse, doit éprouver, en tous sens, des pressions égales et contraires.*

Pour démontrer que la première condition est nécessaire, supposons que mp représentant la direction de la résultante des forces qui sollicitent une molécule quelconque m de la surface (fig. 43), cette surface soit inclinée par rapport à la force mp . Celle-ci pourra alors se décomposer en deux forces mq et mf (28), l'une perpendiculaire à la surface du liquide, l'autre à la direction mp . Or, la première sera détruite par la résistance du liquide, tandis que la seconde entraînera la molécule dans la direction mf , ce qui démontre que l'équilibre est impossible.

Si la force qui sollicite le liquide est la pesanteur, la direction mp est verticale, et alors, pour qu'il y ait équilibre, la surface libre du liquide doit être plane et horizontale (38), du moins si le liquide est contenu dans un vase ou un bassin d'une petite étendue, puisqu'en chaque point la direction de la pesanteur est alors la même.

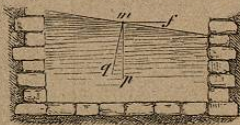


Fig. 43.

Mais il n'en est plus ainsi pour une surface liquide d'une grande étendue, comme celle des mers. En effet, cette surface devant être, en chaque lieu, perpendiculaire à la direction de la pesanteur, et celle-ci changeant d'un lieu à l'autre, en se dirigeant toujours sensiblement vers le centre de la terre, il en résulte que la surface des mers change de direction en même temps que la pesanteur, et prend une forme sensiblement sphérique.

Pour prouver expérimentalement que le fil à plomb, en chaque lieu, est perpendiculaire à la surface des liquides en équilibre, tenant le fil à plomb à la main, comme dans la figure 7, on en fait plonger la boule dans un vase rempli d'eau, et l'on aperçoit alors, dans l'eau, une image du fil exactement en ligne droite avec lui, ce qui n'aurait pas lieu s'il n'était pas perpendiculaire à la surface du liquide.

Quant à la deuxième condition d'équilibre, elle est évidente d'elle-même; car, si, dans deux directions opposées, les pressions qui s'exercent sur une molécule quelconque n'étaient pas égales et contraires, la molécule serait entraînée dans le sens de la plus grande pression, et il n'y aurait pas équilibre. Cette seconde condition est, du reste, une conséquence du principe d'égalité de pression et de la réaction que toute pression fait naître dans la masse des liquides, et l'on pourrait l'énoncer en disant que *dans un liquide en équilibre, les pressions verticales sont égales sur tous les points d'une même tranche horizontale*. En effet, cette tranche est, d'après ce qu'on a

vu ci-dessus, parallèle à la surface libre du liquide, et par suite toutes ses molécules, étant à la même profondeur, supportent des pressions égales (80).

87. Équilibre d'un même liquide dans plusieurs vases communicants. — Lorsque plusieurs vases de forme quelconque et contenant le même liquide communiquent entre eux, il n'y a équilibre qu'autant que le liquide, dans chaque vase, satisfait aux deux conditions précédentes (86), et, de plus, que les diverses surfaces libres du liquide, dans tous les vases, sont situées dans un même plan horizontal.

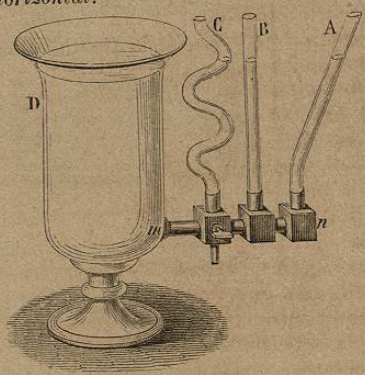


Fig. 44 (h = 38).

Soient, en effet, différents vases A, B, C, D, communiquant entre eux (fig. 44); si l'on conçoit, dans le tube de communication *mn*, une tranche liquide verticale, cette tranche ne pourra demeurer en équilibre qu'autant que les pressions qu'elle supporte de *m* vers *n* et de *n* vers *m* sont égales et contraires. Mais on a vu (83) que ces pressions sont respectivement équivalentes au poids d'une colonne d'eau qui aurait pour base la tranche que nous considérons, et pour hauteur la distance verticale de son centre de gravité à la surface libre du liquide. Si l'on conçoit donc un plan horizontal *mn* mené par le centre de gravité de cette tranche, on voit que l'équilibre ne peut exister qu'autant que la hauteur du liquide, au-dessus de ce plan, est la même dans chaque vase; ce qui démontre le principe énoncé ci-dessus.

88. Équilibre des liquides superposés. — Lorsque plusieurs liquides hétérogènes sont superposés dans un même vase, il faut, pour qu'il y ait équilibre, que chacun d'eux satisfasse aux conditions nécessaires dans le cas d'un seul liquide (86); mais, de plus, pour que l'équilibre soit stable, les liquides doivent être superposés par ordre de densités décroissantes de bas en haut.

Cette dernière condition se démontre expérimentalement au moyen de la fiole des quatre éléments. On nomme ainsi un flacon long et étroit, contenant du mercure, de l'eau saturée de carbonate de potasse, de l'alcool coloré en rouge, et de l'huile de naphte.

Lorsqu'on agite le flacon, les quatre liquides se mélangent; mais aussitôt qu'on le maintient au repos, le mercure, qui est le plus dense, se précipite au fond; puis, au-dessus du mercure, se déposent successivement l'eau, l'alcool et l'huile de naphte. Tel est, en effet, l'ordre des densités décroissantes de ces corps. C'est afin que l'eau ne se mêle pas à l'alcool qu'on la sature de carbonate de potasse, ce sel n'étant pas soluble dans l'alcool.

Il faut rapporter la séparation des liquides, dans l'expérience précédente, à la même cause qui fait que les solides plongés dans un liquide plus dense qu'eux viennent flotter à la surface (97).

C'est en vertu du principe d'hydrostatique ci-dessus que l'eau douce, à l'embouchure des fleuves, surnage assez longtemps au-dessus de l'eau salée de la mer. C'est par la même cause que la crème, qui est moins dense que le lait, s'en sépare peu à peu pour se rendre à la surface.

89. Équilibre de deux liquides hétérogènes dans deux vases communicants. — Lorsque deux liquides de densités différentes, et sans action chimique l'un sur l'autre, sont contenus dans deux vases communicants, aux conditions déjà connues d'équilibre (86) il faut ajouter celle-ci, que les hauteurs des colonnes liquides qui se font équilibre doivent être en raison inverse des densités des deux liquides.

Pour démontrer ce principe par l'expérience, on prend deux tubes de verre *m*, *n*, réunis par un tube à petit diamètre, et fixés sur une planchette verticale (fig. 45); on y verse du mercure, puis, dans une des branches AB, on verse de l'eau. La colonne d'eau AB exercant en B une pression sur le mercure, le niveau de celui-ci baisse dans la branche AB et s'élève dans l'autre d'une quantité CD; en sorte que, l'équilibre étant établi, si l'on conçoit en B un plan horizontal BC, la colonne d'eau AB fait équilibre à la colonne de mercure DC. Mesurant alors les hauteurs DC et AB au moyen de deux échelles fixées parallèlement aux deux tubes, on trouve que la première est 13 fois et demie plus petite que AB. Or, on verra bientôt que la densité du

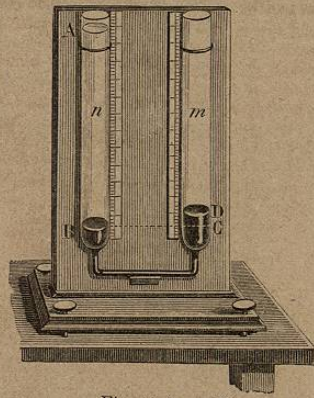


Fig. 45 (h = 72).

mercure est 13 fois et demie plus grande que celle de l'eau : donc les hauteurs sont bien en raison inverse des densités. On conçoit, en effet, que les pressions sur une même tranche horizontale BC devant être les mêmes, ce résultat ne peut se réaliser qu'autant qu'on gagne en hauteur ce qu'on perd en densité.

On peut déduire le principe précédent d'un calcul fort simple. Pour cela, soient d et d' les densités de l'eau et du mercure, h et h' les hauteurs de ces liquides qui se font équilibre, et g l'intensité de la gravité. La pression en B étant proportionnelle à la densité du liquide qui est au-dessus, à sa hauteur et à l'intensité de la gravité, cette pression a pour mesure le produit dhg . Par la même raison, la pression qui s'exerce en C a pour mesure $d'h'g$. Mais lorsqu'il y a équilibre, ces pressions sont égales; on a donc $dhg = d'h'g$, ou $dh = d'h'$, en supprimant le facteur commun g . Or, cette dernière égalité n'est autre chose que l'expression du principe qu'il s'agissait de démontrer, car les deux produits dh et $d'h'$ devant toujours rester égaux entre eux, il s'ensuit que plus d' sera grand par rapport à d , plus h' sera petit par rapport à h .

Ce principe d'hydrostatique peut servir à déterminer la densité d'un liquide. En effet, supposons que l'une des branches du tube précédent contienne de l'eau, et l'autre de l'huile, les hauteurs respectives des colonnes liquides qui se font équilibre soient 38 centimètres pour l'huile et 35 pour l'eau. La densité de l'eau étant prise pour unité, si l'on représente par x celle de l'huile, on a

$$38 \times x = 35 \times 1; \text{ d'où } x = \frac{35}{38} = 0,92.$$

APPLICATIONS DES PRINCIPES D'HYDROSTATIQUE QUI PRÉCÈDENT.

90. **Presse hydraulique.** — Le principe d'égalité de pression (79) a reçu une importante application dans la *presse hydraulique*, dont le principe est dû à Pascal, mais qui a été construite, pour la première fois, à Londres, en 1796, par Bramah.

Cet appareil, à l'aide duquel on peut produire des pressions considérables, est tout de fonte. La figure 46 en donne une vue d'ensemble, et la figure 47 une coupe verticale. Dans un corps de pompe B, à grand diamètre et à parois très-résistantes, peut monter et descendre à frottement doux un cylindre C faisant l'office de piston. A celui-ci est fixé un plateau K qui monte et descend avec lui entre quatre colonnes. Celles-ci supportent un plateau MN qui est fixe, et c'est entre ce plateau et le plateau K que sont placés les objets qu'on veut mettre en presse.

Quant à l'ascension du piston C (fig. 47), elle s'obtient à l'aide d'une *pompe d'injection* A, qui aspire l'eau d'un réservoir P, et la refoule dans le cylindre B. On fait marcher le piston a de cette pompe à l'aide d'un levier O. Lorsque le piston s'élève, la soupape S s'ouvre, et l'eau s'introduit dans le corps de pompe A; puis quand il redescend, cette soupape se ferme, et une seconde soupape m ,

qui était fermée pendant l'ascension du piston, est soulevée actuellement par la pression de bas en haut qu'elle reçoit, et l'eau est refoulée par le tube d jusque dans le corps de pompe B. Or, c'est alors qu'on gagne d'autant plus en pression, que la section du piston C est plus grande par rapport à celle du piston a .

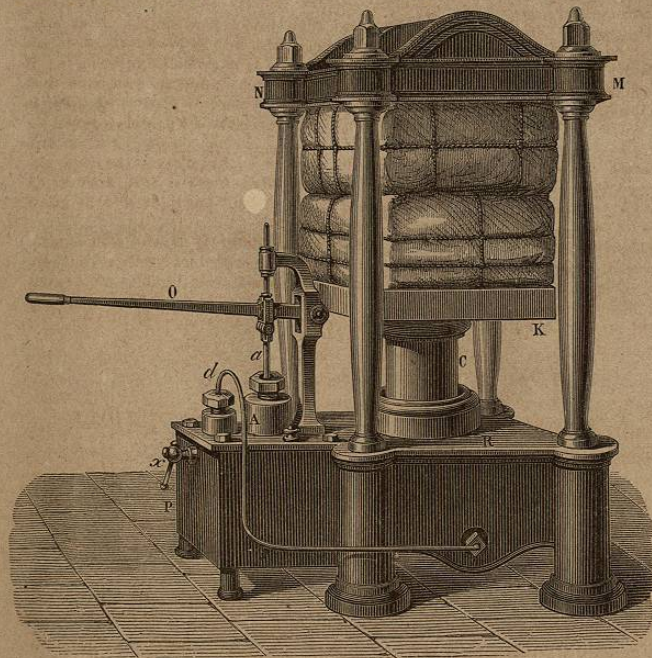


Fig. 46.

Il est une pièce qui mérite d'être décrite : c'est le *cuir embouti*. On nomme ainsi un cuir épais, imbibé d'huile et imperméable à l'eau, lequel sert à fermer hermétiquement le corps de pompe B. Ce cuir, qui est recourbé sous la forme d'un U renversé, s'enroule circulairement dans une cavité pratiquée au haut de la paroi du corps de pompe. Plus l'eau est comprimée dans celui-ci, plus ce cuir s'applique fortement, d'un côté sur la paroi du corps de pompe, de l'autre sur le piston C, de manière à s'opposer à toute fuite.

La pression qu'on peut obtenir au moyen de la presse hydraulique dépend du rapport de la section du piston C à celle du piston m .