l'extrémité se meut sur un petit cadran d'ivoire, fixé à la partie inférieure de la colonne.

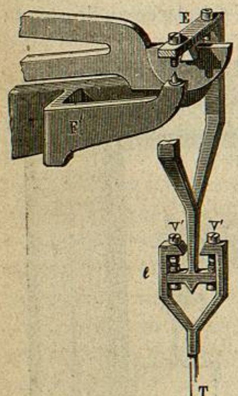

Fig. 44.

La sensibilité de l'instrument dépendant de la distance du centre de gravité à l'axe de suspension (60), on fait en sorte de pouvoir, pour les recherches précises, déplacer un peu ce centre de gravité. Pour cela, on fixe, au milieu du fléau, une tige verticale sur laquelle on peut faire mouvoir, au moyen d'un pas de vis, soit une virole métallique, comme on le voit dans un grand nombre de balances, soit une tige horizontale portant à ses extrémités de petites boules massives, comme dans la figure 43 (*).

(*) La balance est entourée d'une cage de verre qui la préserve des mouvements dus aux courants d'air. Pour éviter l'oxydation des pièces d'acier, on dessèche l'air intérieur de la cage en y plaçant un vase V qui contient, soit de la chaux vive, soit de l'acide sulfurique. — Un thermomètre T donne les températures auxquelles sont faites les pesées.

CHAPITRE II

HYDROSTATIQUE DES LIQUIDES

I. — ÉQUILIBRE DES LIQUIDES. — PRESSIONS EXERCÉES PAR LES LIQUIDES PESANTS.

64. **Objet de l'hydrostatique.** — L'hydrostatique a pour objet l'étude des fluides à l'état d'équilibre.

Elle se divise en deux parties, l'une relative aux liquides, l'autre relative aux gaz. Nous nous occuperons spécialement, dans ce chapitre, de ce qui concerne l'équilibre des liquides.

65. **Principe fondamental de l'hydrostatique** ou **principe de la transmission des pressions.** — L'hydrostatique tout entière repose sur le principe suivant, énoncé par Pascal :

Si, sur une portion plane de la surface d'un liquide, on exerce une pression déterminée, cette pression se transmet intégralement à toute portion de paroi plane ayant une surface égale à la première.

On trouve une confirmation de ce principe dans la *presse hydraulique*, dont la première idée est due à Pascal. — Réduite à sa plus simple expression, cette machine se compose de deux cylindres verticaux A et B (*fig.* 45), de diamètres différents, et communiquant entre eux par un tube CD. Dans chacun des cylindres est placé un piston; l'intervalle compris entre les deux pistons est entièrement plein d'eau.

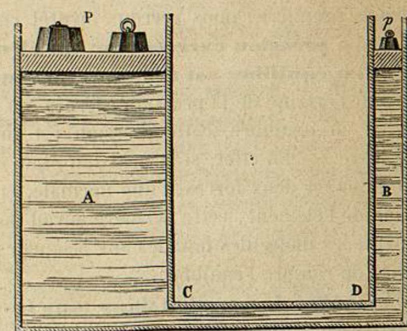

Fig. 45

Supposons, pour fixer les idées, que la surface du plus grand piston P soit égale à 100 fois celle du plus petit p. Plaçons sur le petit piston un poids de 20 kilogrammes, par exemple; il exercera sur le liquide qui est au-dessous de lui une pression verticale. Cette pression, d'après le principe énoncé, doit se transmettre sans altération à toute portion égale à p, prise sur la face inférieure du piston P ; donc, si le principe est exact, la pression totale transmise à ce dernier piston doit être égale à 100 fois 20 kilogrammes. On reconnaît en effet, après avoir chargé le piston p du poids de 20 kilogrammes, que le piston P tend à s'élever dans le cylindre A, et que, pour le maintenir dans sa position première, il faut le charger d'un poids égal à 2000 kilogrammes.

Nous décrirons plus loin (chapitre VI) les détails de construction de la presse hydraulique, qui ont fait de cet appareil une des machines les plus utiles à l'industrie.

66. **Remarque sur l'application du principe qui précède aux liquides pesants.** — D'après ce qui précède, toutes les fois qu'on exerce une pression sur une portion de la surface d'un liquide, on peut dire que, *si le liquide était soustrait à la pesanteur*, des portions planes et égales de la paroi supporteraient partout des pressions égales.

En réalité, nous verrons bientôt que l'action de la pesanteur sur les divers points du liquide produit un accroissement dans la pression sur les parois, accroissement d'autant plus grand que les portions de parois considérées sont situées plus bas. Dans la presse hydraulique, les pressions dues à la pesanteur étant généralement très petites par rapport à celles qui résultent des actions exercées sur les pistons, tout se passe à peu près comme si le liquide n'était pas pesant. Mais, dans les cas où ces deux espèces de pressions sont du même ordre de grandeur, on doit considérer la pression totale, sur une portion de paroi déterminée, comme la somme de la pression due aux *actions extérieures* et de la pression due *au poids du liquide*. — Nous savons calculer la première ; nous verrons bientôt comme on évalue la seconde.

67. **La pression exercée sur un élément de paroi par un liquide en équilibre est toujours normale à cet élément.** — Quelle que soit l'origine de la pression exercée sur un élément de paroi par un liquide en équilibre, cette pression est toujours *normale* à l'élément considéré. — En effet, si la pression était oblique, elle pourrait se décomposer en deux forces, l'une normale, et l'autre située dans le plan même de l'élément ; cette dernière aurait pour effet de faire glisser sur la paroi les molécules liquides sur lesquelles s'exerce la pression, c'est-à-dire de rompre l'équilibre.

68. **Égalité de pression dans tous les sens, autour d'un point pris dans l'intérieur d'un liquide en équilibre.** — Les pressions que l'on exerce sur la surface d'un liquide se transmettent, non seulement à la paroi du vase, mais encore à tout élément de surface pris dans l'intérieur du liquide.

Pour nous en rendre compte, imaginons un vase CD (*fig.* 46) entièrement rempli par un liquide en équilibre, et supposons que, sur une

portion mn de la surface, on exerce une pression à l'aide d'un piston A. Soit B un point quelconque, pris dans l'intérieur du liquide, et soit IH un plan quelconque, mené par ce point. L'équilibre ne sera pas

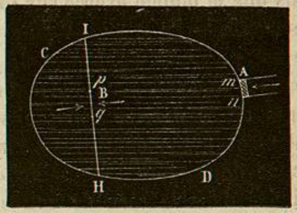

Fig. 46.

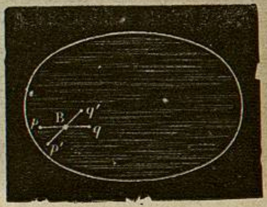

Fig. 47.

troublé si nous supposons que les molécules liquides comprises dans ce plan viennent à être liées entre elles, de manière à constituer une paroi solide. Mais alors la partie AIBHD devient un vase fermé : soit pq une portion très petite du plan IH, comprenant le point B ; sur pq s'exerce une pression dont le rapport à la pression exercée sur mn est égal au rapport des surfaces pq et mn (65), et cette pression est normale au plan pq (67). — Si maintenant on rend la mobilité à toutes les molécules, sauf à celles de la portion pq, il faut, pour que pq reste en équilibre, qu'il supporte sur son autre face une pression égale et contraire. — Or nous avons donné au plan IH une direction arbitraire la pression reçue par la portion pq de ce plan ne dépend donc pas de sa direction, et, si l'on imagine que cette petite surface plane prenne autour du point B toutes les positions possibles, pq, $p'q'$, etc. (*fig.* 47), la pression normale qu'elle supporte sur ses deux faces reste invariable. — C'est là ce qu'on exprime, d'une manière abrégée, en disant que, *dans un liquide en équilibre, la pression est la même dans tous les sens autour d'un même point.*

69. **Condition d'équilibre d'un liquide pesant. — Egalité de pression en tous les points d'un plan horizontal.** — Les principes qui précèdent suffisent pour résoudre toutes les questions relatives à l'équilibre des liquides. — Nous allons montrer, par exemple, que si l'on tient compte de l'action exercée par la pesanteur sur les divers points d'une masse liquide, on est conduit à une condition générale d'équilibre qui est la suivante :

Dans un liquide pesant en équilibre, la pression est la même en tous les points d'un même plan horizontal.

Soient deux points m et m', pris dans un même plan horizontal, au sein d'une masse liquide pesante en équilibre ABCD (*fig.* 48). Imaginons un cylindre circulaire droit, ayant pour bases deux petits cercles ef, $e'f'$, décrits autour de m et de m' avec des rayons très petits. Si nous supposons que toutes les molécules comprises dans ce cylindre soient liées entre elles de manière à constituer un corps solide, ce solide demeurera évidemment en équilibre, au milieu du liquide environnant,

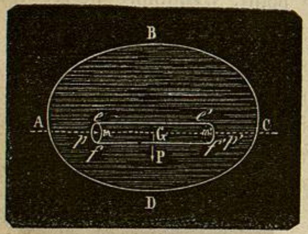

Fig. 48.

sous l'action de son poids et des pressions que le liquide exerce sur toute sa surface. — Or le poids P du cylindre est perpendiculaire à mm'; les pressions exercées sur les divers éléments de sa surface convexe sont également perpendiculaires à mm' : aucune de ces forces ne sollicite le cylindre dans le sens de son axe. D'autre part, les pressions p et p', exercées sur les bases, sont dirigées suivant l'axe du cylindre. Donc, si le cylindre est en équilibre, c'est que, d'une part, la résultante des pressions exercées sur sa surface convexe est une force égale et opposée au poids P ; et que, d'autre part, les forces p et p' *sont égales entre elles*.

Rendons maintenant la fluidité au cylindre, à l'exception des molécules situées dans les éléments plans ef, $e'f'$. Chacun de ces éléments plans éprouvera, sur ses deux faces, des pressions égales entre elles et égales à p; et il en sera encore de même si l'on considère des éléments égaux en surface, mais orientés d'une manière quelconque autour de m et de m'. — C'est ce qu'on exprime d'une manière abrégée, en disant que, dans un liquide pesant en équilibre, *la pression est la même en tous les points d'un même plan horizontal.*

70. **Différence des pressions supportées par des éléments égaux, non situés dans un même plan horizontal.** — Considérons maintenant, dans une masse liquide, un cylindre $efe'f'$ (*fig.* 49), ayant ses bases situées dans des plans horizontaux différents AC, A'C', et ses arêtes verticales. Solidifions encore, par la pensée, la partie du liquide qui est comprise dans ce cylindre. Les seules forces qui tendent à déplacer le cylindre dans le sens de son axe sont : le poids P, appliqué au centre de gravité G, et les deux pressions p et p', normales aux bases. Puisque l'équilibre existe, la pression p', dirigée de bas en haut, doit être égale à la résultante des deux forces p et P dirigées de haut en bas, c'est-à-dire à leur somme $p + P$.

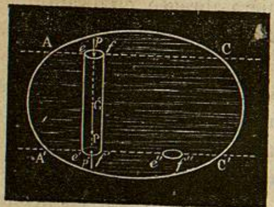

Fig. 49.

Donc *la pression qui s'exerce sur l'élément* e'f' *est égale à la pression que supporte l'élément égal* ef, *plus le poids d'une colonne cylindrique de liquide ayant pour base l'un des éléments et pour hauteur la distance des plans horizontaux* AC *et* A'C'.

La même proposition s'appliquerait à deux éléments égaux ef, $e''f''$, non compris entre les mêmes verticales, puisque $e'f'$ et $e''f''$ éprouvent des pressions égales.

71. **La surface libre d'un liquide pesant doit être plane et horizontale.** — Supposons qu'un liquide pesant ne remplisse pas entièrement le vase qui le contient, et qu'il présente une *surface libre*, dont les divers éléments ne supportent aucune pression.

Soit BB' la surface libre (*fig.* 50) : prenons, dans un plan horizontal AC mené au-dessous de cette surface, deux éléments égaux m, n, et construisons les cylindres verticaux mm', nn', qui ont ces éléments pour bases et se terminent à la surface libre. La pression sur la surface libre étant nulle, la pression en m est égale au poids du liquide contenu dans le cylindre mm' (70); en n, au poids du liquide contenu dans le cylindre nn'. Or ces deux pressions doivent être égales entre elles (69); donc tous les points tels que m' et n' doivent être à la même distance du plan horizontal AC, c'est-à-dire que la surface libre doit être elle-même *plane et horizontale.*

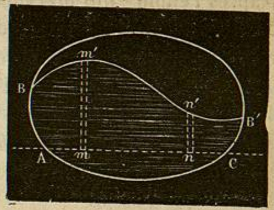

Fig. 50.

72. **Pression exercée par un liquide pesant, sur le fond horizontal d'un vase.** — Prenons, sur le fond horizontal d'un vase ABCD (*fig.* 51), un élément de surface mn, et décrivons un cylindre vertical ayant cet élément pour base; supposons que toutes les arêtes rencontrent la surface libre du liquide, elles y découperont un élément $m'n'$ égal à mn. Or la pression que le liquide exerce sur mn, en vertu de son poids, surpasse la pression en $m'n'$ (70), d'une quantité égale au poids d'une colonne cylindrique de liquide ayant pour base mn et pour hauteur la distance mm' de la surface libre AD au fond BC du vase (*). — Décompo-

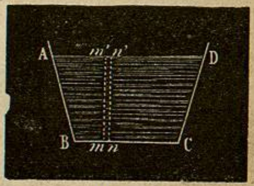

Fig. 51.

(*) Il en est encore de même si la forme du vase et la situation de l'élément mn sont telles que les arêtes du cylindre construit sur cet élément ne rencontrent pas la surface libre (*fig.* 52). — Pour le démontrer, prenons sur la surface libre un élément $m'n'$ égal à mn, et projetons mn et $m'n'$ sur un plan horizontal IH, situé de façon que les deux projections pq et $p'q'$ soient dans l'intérieur du liquide. En mn, la pression est égale à la pression en pq, augmentée du poids du cylindre $mnpq$: en pq, la pression est la même qu'en $p'q'$, c'est-à-dire qu'elle est égale au poids du cylindre $p'q'm'n'$. Donc la pression en mn est égale au poids d'une colonne cylindrique de liquide qui aurait pour base mn, et pour hauteur la distance mK au plan de la surface libre.

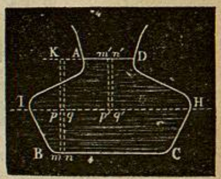

Fig. 52.

sons maintenant la paroi horizontale BC tout entière en éléments tels que *mn;* les pressions que supportent ces éléments se composeront en une seule, égale à leur somme. Donc :

La pression exercée par un liquide pesant, sur le fond horizontal du vase qui le contient, est égale au poids d'une colonne cylindrique de ce liquide, ayant pour base la surface du fond et pour hauteur la distance du fond au plan de la surface libre.

73. **Vérification expérimentale. — Appareil de Masson.** — D'après l'énoncé qui précède, si l'on considère trois vases comme ceux de la figure 53, l'un A cylindrique, le deuxième B élargi, le troisième C rétréci à la partie supérieure, si ces trois vases ont des fonds égaux et qu'ils contiennent un même liquide, s'élevant à une *même hauteur* au-dessus du plan du fond, les pressions doivent être égales sur les trois fonds. — Ce résultat peut être vérifié à l'aide d'une disposition qui a été indiquée par A. Masson, et qui est une modification d'un appareil imaginé par Pascal.

Trois vases A, B, C, sans fond (*fig.* 53), de formes différentes, mais présentant à leur partie inférieure des ouvertures égales, peuvent se

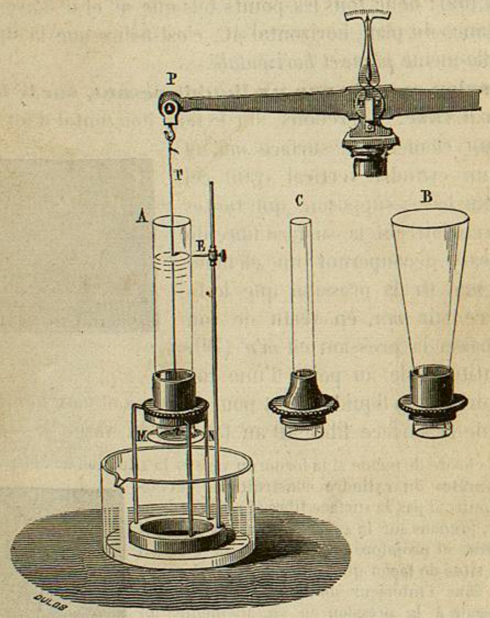

Fig. 53. — Appareil de A. Masson.

visser sur un trépied métallique. L'un deux A étant installé sur ce trépied, on applique sur son ouverture inférieure un *obturateur* MN, c'est-

à-dire un disque de verre plan, qu'on suspend par un fil T à l'un des bras d'une balance : on place ensuite des corps pesants dans le plateau qui est suspendu à l'autre bras, de manière à appliquer, avec une certaine force, l'obturateur sur l'ouverture. On verse alors de l'eau dans le vase, jusqu'à ce que l'obturateur laisse échapper quelques gouttes de liquide; à ce moment, la pression exercée par l'eau de haut en bas, sur ce fond mobile, est égale en grandeur à la force avec laquelle il est maintenu contre l'ouverture; on marque alors le niveau de l'eau au moyen du petit index E, mobile le long d'une tige verticale. — On remplace ensuite successivement le vase A par les vases B et C, sans toucher à l'index : l'expérience montre que l'obturateur se détache toujours au moment où le liquide atteint le même niveau.

La pression est donc *la même sur le fond des trois vases;* quant à sa valeur absolue, on peut la déterminer, au moins grossièrement, en plaçant sur l'obturateur, au lieu d'eau, des poids marqués : on trouve que la somme des poids nécessaires pour le détacher est précisément égale au poids total de l'eau qu'on avait dû verser dans le vase *cylindrique* A. — Il en résulte que, pour le vase élargi B, la pression exercée sur le fond est inférieure au poids de l'eau que contient ce vase; dans un vase rétréci tel que C, la pression sur le fond est supérieure au poids total de l'eau.

74. **Appareil de Haldat.** — L'appareil imaginé par de Haldat (*fig.* 54) conduit à la même vérification. — Le tube de verre deux

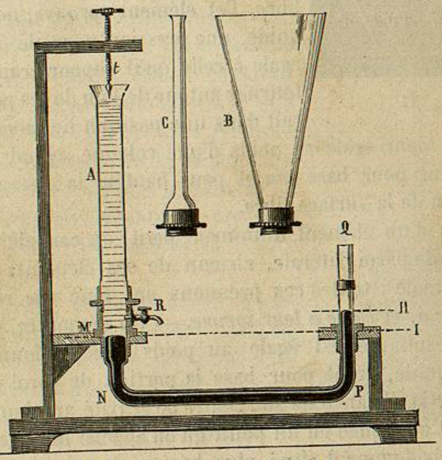

Fig. 54. — Appareil de Haldat.

fois recourbé MNPQ s'engage en M dans une monture de fonte, sur laquelle peuvent se visser à volonté les trois vases A, B, C. On introduit du mercure dans le tube recourbé; puis, le vase A étant mis en place, on y verse de l'eau jusqu'à ce que le niveau atteigne l'extrémité de la pointe verticale *t*; on marque le point H auquel s'est élevé le mercure dans la branche PQ, au moyen d'une bague qui glisse le long du tube. On retire ensuite l'eau du vase A, en ouvrant le robinet R; on enlève ce vase, et on recommence l'expérience avec chacun des vases B et C : on constate toujours que, à l'instant où le niveau de l'eau atteint l'extrémité de la tige *t*, le niveau du mercure dans la branche PQ vient affleurer au bord de la bague demeurée en H. — Donc la pression supportée par la surface du mercure dans la cuvette est la même dans les trois expériences, malgré les formes différentes des vases auxquels cette surface sert successivement de fond.

75. **Pression sur les parois latérales.** — L'existence des pressions sur les parois latérales peut se démontrer par l'expérience, en pratiquant des ouvertures dans les parois d'un vase : le liquide s'échappe, par chaque ouverture, en formant un jet qui est d'abord normale à la portion de paroi supprimée, et qui s'infléchit ensuite sous l'influence de la pesanteur. Les molécules liquides qui touchaient la paroi exerçaient donc contre elle une pression normale.

Pour évaluer cette pression, prenons, sur une paroi latérale d'un vase ABCD (*fig.* 55), un élément de surface *mn*, assez petit pour qu'on puisse toujours le considérer comme plan, et pour qu'on puisse regarder tous ses points comme étant à égale distance de la surface libre. Cet élément éprouve, de la part du liquide, une pression normale à sa surface, et égale à celle qu'il supporterait, si, venant à tourner autour de l'un de ses points, il se plaçait dans une position horizontale (68); cette pression est donc égale au poids d'une colonne cylindrique droite de liquide, ayant pour base *mn* et pour hauteur la distance de cet élément au plan de la surface libre.

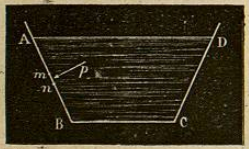

Fig. 55.

Si, au lieu d'un élément infiniment petit, on considère une portion *plane et finie* de paroi latérale, chacun de ses éléments supporte une pression normale : toutes ces pressions ont donc *une résultante*, normale à la paroi, et *égale à leur somme*. — On démontre, en Mécanique, que cette résultante est égale au poids d'une colonne cylindrique droite de liquide, ayant pour base la portion de paroi considérée, et pour hauteur la distance de son centre de gravité au plan de la surface libre. Elle est appliquée en un point qu'on appelle le *centre de pression* : ce point est évidemment situé plus bas que le centre de gravité de la portion de paroi elle-même.

76. **Paradoxe hydrostatique.** — Supposons que l'on porte successivement, sur l'un des plateaux d'une balance, trois vases semblables aux vases A, B, C (*fig.* 53), et contenant de l'eau jusqu'à une

même hauteur ; négligeons, pour plus de simplicité, les poids des vases eux-mêmes, dont il serait d'ailleurs facile de tenir compte. La pression qu'exerce le liquide, sur le fond qui repose sur le plateau de la balance, est la même pour chacun de ces trois vases, et cependant il est évident qu'il faudrait, pour leur faire équilibre, placer dans l'autre plateau de la balance des poids différents. — Cette apparente contradiction, connue sous le nom de *paradoxe hydrostatique*, disparaît quand on a égard à l'ensemble des pressions que le liquide exerce sur les parois.

Il est facile de voir, en effet, que les pressions *p*, exercées sur les différents éléments d'une paroi telle que AB (*fig.* 56), qui fait un angle obtus avec le fond, peuvent se décomposer chacune en deux forces, l'une horizontale *f'* et l'autre verticale *f*; les composantes verticales s'ajoutent à la pression exercée sur le fond, et se transmettent, par

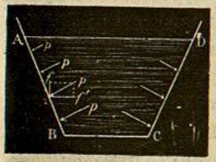

Fig. 56.

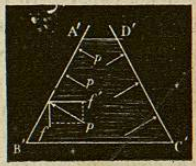

Fig. 57.

la paroi solide, au plateau de la balance. Le plateau supporte donc une pression plus grande que celle qui s'exerce directement sur le fond de ce vase. — Sur une paroi faisant un angle aigu avec le fond, chaque pression élémentaire *p* (*fig.* 57) se décompose en une force horizontale *f'* et en une force verticale *f* dirigée en sens contraire de la pesanteur ; donc la pression supportée par le plateau de la balance est la différence entre la pression supportée par le fond du vase et la résultante des forces *f*.

On complète cette explication, en Mécanique, en démontrant que, quelle que soit la forme du vase, toutes les pressions élémentaires supportées par l'ensemble des parois *ont une résultante unique, égale au poids du liquide contenu dans le vase.*

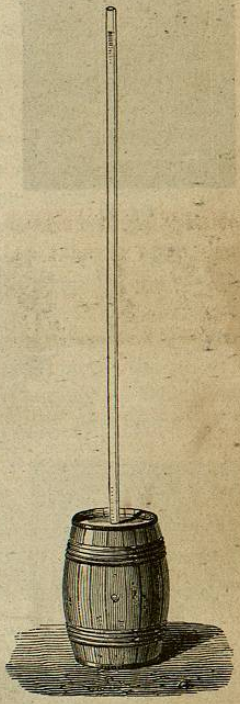
Fig. 58. — Expérience du crève-tonneau.

77. **Expérience du crève-tonneau.** — L'expérience suivante, qui est due à Pascal, montre d'une manière frappante l'influence qu'exerce la hauteur d'un liquide, sur la grandeur des pressions que supportent les parois de l'enveloppe qui le contient.

Un tonneau (*fig.* 58), dressé sur son fond, est rempli d'eau : on y assujettit un tube vertical, de plusieurs mètres de hauteur, dans lequel on continue à verser de l'eau par la partie supérieure. Tant qu'il n'y a d'eau que dans le tonneau lui-même, il ne se produit aucune fuite ; mais, dès que l'eau s'élève dans le tube à une hauteur un peu considérable, on voit les douves éclater, et laisser échapper le liquide par tous leurs interstices. — Ce que cette expérience offre de remarquable, c'est que, en versant de l'eau dans le tube, on n'a ajouté que très peu de liquide à celui que contenait déjà l'appareil ; mais on a augmenté considérablement la hauteur du liquide, et c'est ce qui a produit un accroissement considérable de pression à la partie inférieure.

78. **Tourniquet hydraulique.** — Considérons un vase ABCD (*fig.* 59), dont nous supposerons, pour plus de simplicité, les deux parois AB et CD planes, verticales et parallèles. Prenons, sur l'une de ces parois, une portion *mn* pour base d'un cylindre droit ; ce cylindre découpe sur la paroi CD une portion *m'n'* égale à *mn*. Les pressions que le liquide exerce sur *mn* et sur *m'n'* sont deux forces *p* et *p'* égales et contraires, qui se font équilibre ; mais si l'on vient à enlever la portion de paroi *m'n'*, la pression *p'* a pour effet de faire jaillir le liquide, tandis que la force *p* tend à imprimer au vase un mouvement de *recul*, en sens contraire de l'écoulement. — C'est ce que l'on peut constater, en plaçant le vase sur un petit chariot.

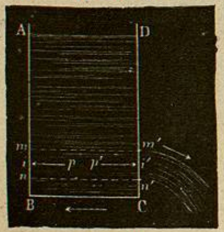
Fig. 59.

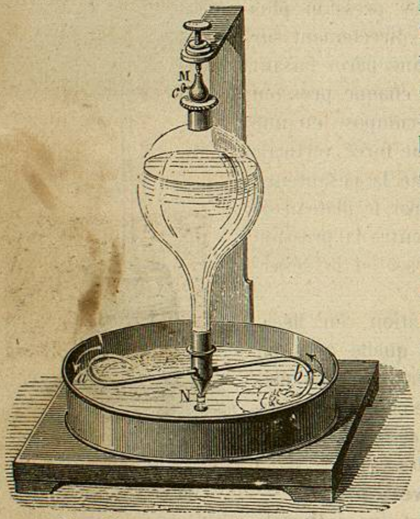
Fig. 60. — Tourniquet hydraulique.

Le *tourniquet hydraulique* (*fig.* 60) est fondé sur le même principe. Un réservoir de verre MN, rempli d'eau, est disposé de manière à pouvoir tourner autour d'un axe vertical ; il communique, à sa partie inférieure, avec un tube deux fois recourbé *ab*, qui a la forme d'un Z très allongé. — A l'instant où l'eau s'échappe par les extrémités de ce tube, l'appareil prend un mouvement de rotation, en sens contraire de l'écoulement. Ce mouvement est produit par les pressions que le liquide exerce sur les portions du tube opposées aux ouvertures.

79. **Vérification de la pression exercée de bas en haut, en un point d'un liquide pesant.** — Il résulte des principes précédents qu'une paroi horizontale, en contact *par sa face inférieure seule* avec un liquide dont la surface libre est à un niveau plus élevé, doit éprouver une pression de bas en haut. — C'est ce que vérifie l'expérience suivante.

On prend un large tube de verre, fermé à la partie inférieure par un disque plan *ab* (*fig.* 61), que l'on maintient d'abord au moyen d'un fil fixé en son centre. Si l'on enfonce ce tube verticalement dans l'eau, le disque éprouve, de bas en haut, une pression qui l'applique contre l'ouverture, car on peut abandonner le fil sans que le disque se détache. — Si maintenant on veut déterminer expérimentalement la valeur de cette pression, on versera de l'eau dans le tube, et l'on constatera que le disque se détache au moment où le niveau intérieur arrive dans le plan du niveau extérieur. Or, à ce moment, l'intérieur du tube constitue un vase sur le fond duquel s'exerce, de haut en bas, une pression que nous savons évaluer (72) : donc la pression équivalente, qui s'exerce de bas en haut sur *ab*, est égale au poids d'une colonne cylindrique de liquide ayant pour base cette surface et pour hauteur la hauteur même du liquide extérieur au-dessus d'elle.

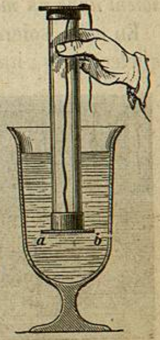
Fig. 61.

80. **Conditions d'équilibre des liquides superposés.** — Nous avons montré (69) que, pour qu'un liquide pesant demeure en équilibre, il faut que la pression soit la même en tous les points d'un même plan horizontal. Le raisonnement qui a été fait s'applique, sans modification, au cas où le vase ABCD (*fig.* 62) contient deux liquides non miscibles et de densités différentes : de l'eau et de l'huile, par exemple. On voit immédiatement :

1° *Que la surface libre doit être plane et horizontale ;*

2° *Que la surface de séparation doit être un plan horizontal ;* en effet, si cette surface pouvait affecter une forme telle que EF, il serait impossible que tous les éléments égaux *m*, *m'*..., pris sur un même plan horizontal IH et dans le liquide inférieur, fussent toujours également pressés.

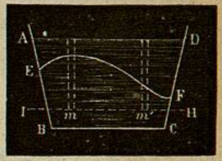
Fig. 62.

Ces conditions étant remplies, pour que l'équilibre subsiste, il faut encore que celui des deux liquides qui a la plus grande densité soit placé à la partie inférieure.

Il en est évidemment de même, quel que soit le nombre des liquides superposés. — L'expérience se fait ordinairement avec du mercure, de l'eau et de l'huile.

81. **Vases communicants, contenant un même liquide.** — Lorsque deux vases communicants contiennent un même liquide, il faut, pour qu'il y ait équilibre, *que les deux surfaces libres du liquide soient dans un même plan horizontal.*

En effet, soient V et V′ (*fig.* 63) deux vases communicants, de formes quelconques ; imaginons, dans le tube de communication, une section par un plan quelconque, et supposons que la portion du liquide comprise dans cette section soit solidifiée. Un élément quelconque *mn* de la section doit supporter, sur ses deux faces, des pressions normales p et p' égales entre elles. Pour évaluer ces pressions, on peut regarder *mn* comme étant, par l'une de ses faces, une portion de paroi du vase V ; par l'autre, une portion de paroi du vase V′.

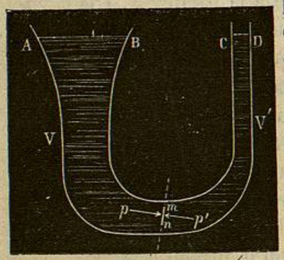

Fig. 63.

La pression p est donc égale au poids d'un cylindre liquide ayant pour base *mn* et pour hauteur la distance de cet élément au plan de la surface libre AB ; de même, la pression p' est égale au poids d'un cylindre liquide ayant pour base *mn* et pour hauteur la distance de cet élément au plan de la surface libre CD. Puisque ces deux pressions doivent être égales, les distances de *mn* aux deux plans horizontaux AB et CD doivent être égales ; en d'autres termes, les deux surfaces libres doivent être dans un même plan horizontal.

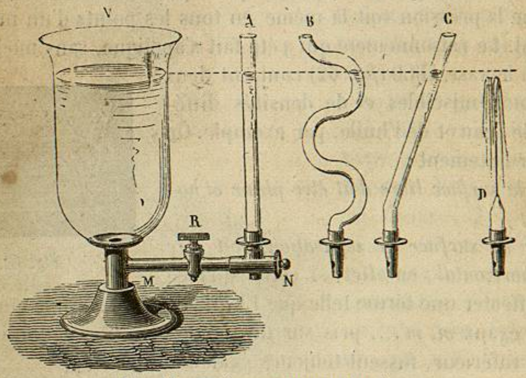

Fig. 64. — Vases communicants.

C'est ce qu'on peut vérifier au moyen de l'appareil représenté par la figure 64. Le réservoir V contient de l'eau et communique, par un

conduit M, avec le tube vertical A, qu'on peut remplacer soit par le tube sinueux B, soit par le tube incliné C ; un robinet R permet d'intercepter la communication, de manière à faciliter ces substitutions d'un tube à un autre. Le liquide s'élève, dans chacun de ces tubes, jusqu'à ce qu'il ait atteint le niveau de la surface libre dans le réservoir V.

Si l'un des tubes est interrompu au-dessous du plan de cette surface, ou, en d'autres termes, si l'on fait communiquer avec le vase V un petit tube tel que D, on voit, au moment où l'on ouvre le robinet R, l'eau jaillir à peu près jusqu'au niveau de la surface libre du liquide dans le réservoir V. — Cependant l'expérience montre que le jet n'atteint jamais tout à fait cette hauteur ; la différence doit être attribuée au frottement de l'eau contre les parois, et aussi à ce que, les gouttes de liquide qui retombent rencontrant celles qui s'élèvent, il en résulte des chocs qui diminuent la vitesse d'ascension.

82. **Vases communicants, contenant des liquides différents** — Lorsque l'un des vases communicants contient deux liquides superposés, il faut, pour qu'il y ait équilibre, *que les hauteurs des liquides dans les deux vases, au-dessus de la surface de séparation, soient en raison inverse de leurs poids spécifiques.*

En effet, prenons encore les deux vases communicants V et V′ ; versons-y d'abord une certaine quantité de mercure, puis achevons de remplir le vase V avec de l'eau (*fig.* 65) : la pression de l'eau déprime le mercure à gauche et le fait monter à droite. L'équilibre étant établi, menons par un point quelconque I de l'élément *mn* une verticale IL, qui rencontre le plan de la surface de séparation et les plans des deux surfaces libres, respectivement aux points H, K, L. La pression normale p, que reçoit *mn* du côté du vase V, est équivalente à la somme des poids d'une colonne cylindrique de mercure ayant pour base *mn* et pour hauteur IH, et d'une colonne d'eau ayant pour base *mn* et pour hauteur HL ; la pression p', exercée sur le même élément du côté du vase V′, est équivalente au poids d'une colonne de mercure ayant pour base *mn*, et pour hauteur IK ou IH + HK. Pour que l'équilibre existe, il faut que ces deux pressions p et p' soient égales entre elles ; or, elles ont une partie commune, savoir le poids de la colonne de mercure qui a pour hauteur IH : il doit donc y avoir égalité entre les deux parties restantes, c'est-à-dire entre le poids de la colonne d'eau ayant pour hauteur HL, et le poids de la colonne de mercure ayant pour hauteur HK. Mais des volumes égaux d'eau et de mercure ont des poids qui sont dans le rap-

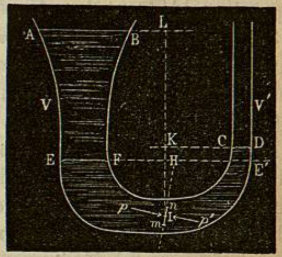

Fig. 65.