

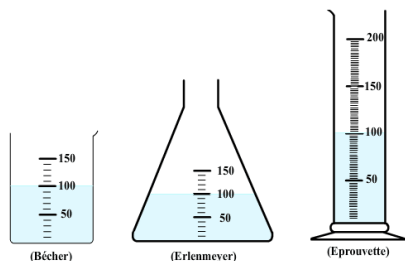
Chapitre 2 : Mécanique des fluides

I Mécanique des fluides

1 Généralités

L'état fluide est un état particulier de la matière dans lequel elle acquiert la capacité à s'écouler. On distingue dans cet état les liquides et les gaz.

Les liquides ont un volume propre, 100 mL sur le dessin ci-dessous, mais pas de forme propre et s'adaptent au récipient proposé.



Les gaz en revanche n'ont ni forme propre, ni volume propre et tendent à occuper tout l'espace disponible.

2 La pression

2.a Présentation

Un fluide est capable d'exercer une force sur un solide ou un autre fluide. La pression est un scalaire que l'on exprime en pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N.m}^{-2}$) et tel que

$$P = \frac{\text{norme de la force pressante perpendiculaire}}{\text{surface sur laquelle elle s'exerce}} = \frac{\|d\vec{f}\|}{\|d\vec{S}\|} \approx \frac{F}{S}$$

Quelques ordres de grandeur

Lieu	Pression (Pa)
Soleil (centre)	2×10^{16}
Océan (fond)	$1,1 \times 10^8$
Air terrestre 1 km	90×10^3
Air (sommet Everest)	30×10^3
Air terrestre 10 km	26×10^3
Air terrestre 100 km	0,1
Ultravide en laboratoire	10^{-12}

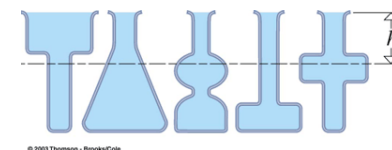
2.b Pression hydrostatique

La pression exercée par un liquide sur la surface S d'un système quelconque dépend uniquement du poids de la colonne de liquide qu'il supporte. Pour une colonne de fluide de hauteur h et de masse volumique ρ s'appuyant sur une surface de section S , la pression exercée par le liquide vaut

$$P_\ell = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} \Rightarrow P_\ell = \rho gh$$

En tenant compte de la pression environnante, c'est le différentiel de pression entre deux points distants de h qui vaut $\Delta P = \rho gh$.

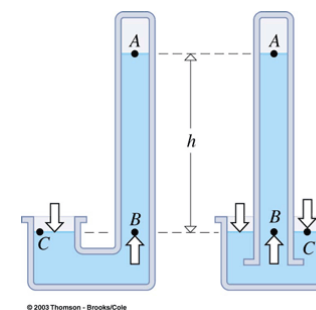
Si l'on reste au sein d'un même fluide et sur une horizontale, en revanche, la variation de pression est nulle. Tous les points ci-contre sont à la même pression.



La relation précédente permet de comprendre le principe de mesure de la pression atmosphérique. La colonne de liquide de hauteur h , comprise entre A et B , trouve son origine dans la force pressante atmosphérique exercée au point C , non compensée au point A où règne le vide.

Par application de la formule précédente,

$$P_C - P_A = P_C = \rho gh$$



Pour du mercure, on trouve $h = 76 \text{ cm}$ et pour de l'eau, $h \approx 10 \text{ m}$, ce qui permet d'expliquer qu'une pompe à vide ne permette pas d'élever de l'eau à plus de 10 m de hauteur.

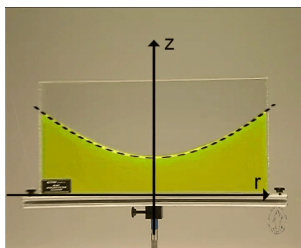
2.c Propriétés

« La surface libre d'un liquide au repos est plane et horizontale. La surface de séparation de deux liquides non miscibles au repos est plane et horizontale. »

Si le fluide n'est pas au repos, cette surface peut donc ne pas être plane ou horizontale.

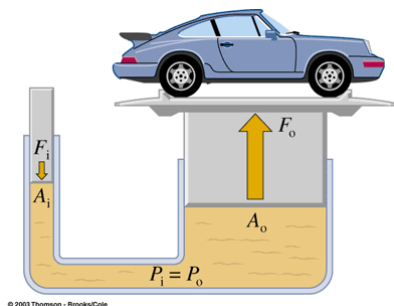
Lorsqu'un liquide est en translation à accélération constante γ , sa surface libre s'incline d'un angle α tel que $\tan \alpha = \gamma/g$. La surface libre du liquide a pour équation $z = (\gamma/g)x + z_0$.

Lorsqu'un liquide est en rotation à vitesse angulaire constante ω , sa surface libre prend une forme parabolique d'équation $z = (\omega^2/2g)r^2 + z_0$.



« Un fluide incompressible a la propriété de transmettre intégralement toute variation de pression subie en un point. »

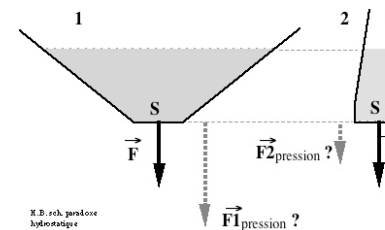
Pour soulever cette voiture, la même pression existant au sein du fluide, la force à exercer à gauche est faible puisqu'elle est en rapport direct avec la surface d'appui.



$$P_i = P_o \Rightarrow \frac{F_i}{A_i} = \frac{F_o}{A_o} \Rightarrow F_i = F_o \frac{A_i}{A_o}$$

« À surface de fond identique et pour une même hauteur de liquide, la force de pression exercée par un liquide sur le fond d'un récipient est indépendante de la forme du récipient. »

Ainsi, la force exercée au fond de ces deux récipients est la même, bien que les quantités de liquide soient différentes.



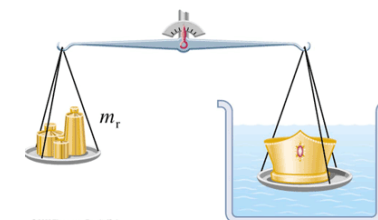
3 La poussée d'Archimède

Le théorème d'Archimède stipule que « tout corps plongé dans un système de fluides en équilibre subit de la part de ceux-ci une force verticale ascendante, appliquée au centre de gravité des fluides déplacés, égale en norme au poids des fluides déplacés »

$$\Pi = \rho_f g V_{\text{corps}}$$

Ainsi, un objet de masse m totalement immergé dans l'eau possède une masse apparente $m_a = m - m_e$. On détermine alors facilement sa densité par rapport à l'eau ρ/ρ_e

$$\frac{\rho}{\rho_e} = \frac{m}{m_e} = \frac{m}{m - m_a}$$



4 L'équation de continuité

Le débit massique D_m ou q_m d'un fluide de masse volumique ρ correspond à la quantité de matière Δm traversant une surface donnée S pendant l'intervalle de temps Δt . Si l'on note v la vitesse moyenne du fluide, alors

$$D_m = q_m = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho v S \quad [D_m] = \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Le débit volumique D_v ou q_v d'un fluide traversant une surface S à la vitesse moyenne v correspond au volume de matière ΔV ayant transité à travers S durant l'intervalle de temps Δt .

$$D_v = q_v = \frac{\Delta V}{\Delta t} = v S \quad [D_v] = \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

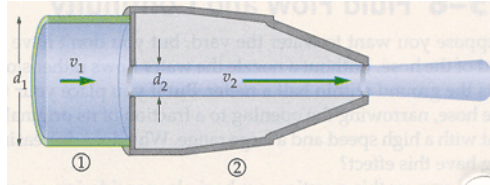
Pour un fluide incompressible, c'est-à-dire les liquides ou éventuellement les gaz s'écoulant à vitesse faible par rapport à la célérité du son, la masse volumique ρ est constante.

L'équation de continuité stipule que ces quantités sont constantes lors de l'écoulement d'un fluide incompressible.

$$Sv = \text{Cste} \quad (\text{Équation de continuité})$$

Ainsi, entre deux sections S_1 et S_2 d'un écoulement d'un fluide incompressible, on peut affirmer que $v_1 S_1 = v_2 S_2$, ce qui permet de prévoir l'évolution de la vitesse en observant la variation des sections.

Ici, la réduction de diamètre entraîne un accroissement de la vitesse de sortie du fluide, on a $v_2 = v_1 (d_1/d_2)^2$.



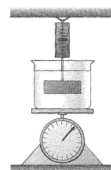
II Exercices

QCM

- On met un glaçon dans un verre et on remplit le verre d'eau liquide jusqu'au bord. Le glaçon dépasse alors le bord et flotte sur la surface. Lorsque le glaçon fond :
 - L'eau déborde si la fonte est trop rapide
 - L'eau ne déborde jamais
 - L'eau ne déborde pas si la quantité de glace est faible
 - L'eau déborde toujours

Exercices et problèmes

- Un récipient de 1 kg contenant 2 kg d'huile ($\rho_h = 916 \text{ kg.m}^{-3}$) est déposé sur une balance. On y plonge entièrement un bloc de fer ($\rho_{\text{Fe}} = 7860 \text{ kg.m}^{-3}$) de 2 kg suspendu à un dynamomètre comme indiqué sur le schéma.

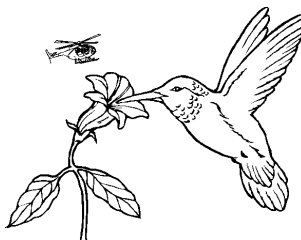


Quelles valeurs (en N) peut-on lire sur chaque instrument de mesure ?

- Épreuve de sélection française 2006

Un colibri a une masse $m = 10 \text{ g}$. Il vole un peu comme un hélicoptère, sauf qu'au lieu d'être en rotation, ses ailes ont un mouvement de va et vient, et développent une force de poussée à l'aller et au retour du mouvement.

La surface de la section verticale balayée par les ailes est $S = 0,01 \text{ m}^2$. La masse volumique de l'air est $\rho = 1 \text{ kg.m}^{-3}$.



NB : Dans cette question, vous allez devoir faire des hypothèses et estimer la valeur de certains paramètres ou de certaines grandeurs physiques. Les points seront donnés sur la qualité de ces hypothèses et de ces estimations ; explicitez-les donc succinctement mais clairement. Même si vos estimations quantitatives vous semblent mauvaises ou hasardeuses, tentez votre chance en modélisant le problème à l'aide de vos hypothèses.

- Estimer la puissance mécanique nécessaire pour que le colibri puisse se maintenir en vol
- Estimer la masse de sucre que le colibri doit consommer (sous forme de nectar) pour demeurer en vol pendant 1 heure.