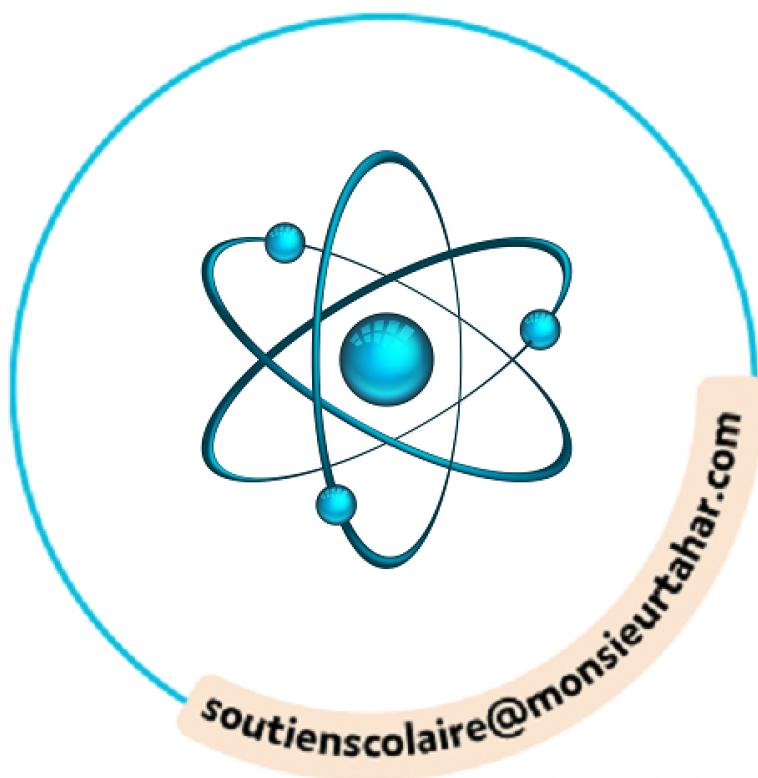


Statique des fluides



CHAPITRE 5

CHAPITRE 5 STATIQUE DES FLUIDES

I Description microscopique d'un fluide

1) Définition

Par opposition à un solide, un **fluide** n'a pas de forme propre. Il est susceptible de s'écouler et prend la forme du récipient qui le contient.

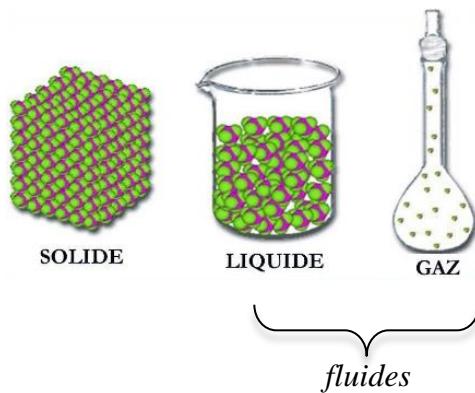
On distingue deux types de fluide :

- les **gaz** qui occupent tout le volume disponible. Ils sont compressibles : on peut changer leur volume.
- les **liquides** qui ont un volume constant. Ils sont incompressibles : il n'est pas possible de les comprimer.

2) Description microscopique d'un fluide

On décrit le fluide comme étant un **ensemble désordonné de particules** (molécules ou atomes). Ces particules ont en effet un mouvement d'agitation permanent qui explique qu'un fluide puisse se déformer facilement.

- Pour un **liquide**, ces particules sont en contact, **très proches** les unes des autres. Elles peuvent « glisser » les unes sur les autres.
- Dans un **gaz**, elles sont **très éloignées** les unes des autres, avec de grands espaces vides entre elles. Elles sont très agitées et sont en mouvement désordonné les unes par rapport aux autres.



3) Description macroscopique d'un fluide

Il est impossible de connaître le comportement de chaque particule constituant un fluide. Pour décrire celui-ci, des grandeurs macroscopiques (mesurables à notre échelle) sont utilisées, elles reflètent le comportement microscopique des particules.

Ces grandeurs sont la **masse volumique**, la **température** et la **pression du fluide**.

a) La masse volumique

La **masse volumique**, notée ρ (rho) est liée au **nombre de particules par unité de volume**. Elle se mesure en **kilogramme par mètre cube (kg.m⁻³)** dans les unités légales.

Dans un liquide, les particules sont très proches les unes des autres, il y en a donc beaucoup plus dans un même volume que dans un gaz.

Ainsi, la masse volumique des liquides est bien supérieure à celle des gaz.

| Quelques masses volumiques de gaz (kg · m ⁻³) | | Quelques masses volumiques de liquides (kg · m ⁻³) | |
|---|-------|--|-------|
| Air 0 °C | 1,293 | Eau 20 °C | 1 000 |
| Air 20 °C | 1,204 | Éthanol 20 °C | 789 |
| Hélium 0 °C | 0,178 | Glycérine 20 °C | 1 260 |

Rappel : la masse volumique est définie par la relation : $\rho = \frac{m}{V}$ avec m en kilogramme et V en m³.

Remarque : en chimie, d'autres unités sont utilisées pour la masse volumique, comme le g.mL⁻¹.

b) La température

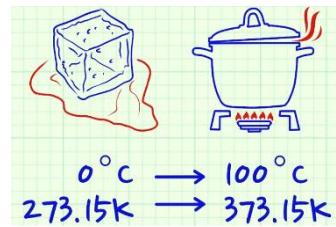
La température d'un fluide est liée à la **vitesse** de ses constituants. Plus la température est grande, plus leur vitesse est importante. A 20°C, la vitesse moyenne des molécules constituant l'air est d'environ 500 m.s⁻¹ (c'est-à-dire 1 800 km.h⁻¹ !!). Elle atteint près de 600 m.s⁻¹ à 100°C.

Quand il n'y a plus de mouvement des molécules, on obtient la température la plus basse possible qui vaut - 273,15°C, c'est une limite basse. En revanche, la température peut être aussi élevée que l'on veut !

Les physiciens ont voulu que les températures se comptent à partir du plancher de température. Une nouvelle unité de mesure de la température est née, graduée en **kelvin** (symbole : K).

C'est la même échelle que celle des degrés Celsius mais décalée vers le bas de 273,15 unités.

La température en degré Celsius (°C) est souvent notée θ (thêta) pour ne pas la confondre avec la température T en kelvin (Attention : on dit « kelvin » tout court, et non « degré kelvin »).



Pour convertir une température de degré Celsius (°C) en kelvin, on utilise :
 $T \text{ (en K)} = \theta \text{ (en °C)} + 273,15$

Exemple : Pour $\theta = 25^\circ\text{C}$, on a $T = 25 + 273,15 = 298,15 \text{ K}$.

Pour $\theta = 0^\circ\text{C}$, on a $T = 0 + 273,15 = 273,15 \text{ K}$

La température, notée T, est une grandeur liée à l'agitation des particules, appelée **agitation thermique**. Elle s'exprime en kelvin (symbole : K). Plus la température est élevée, plus les particules sont agitées.

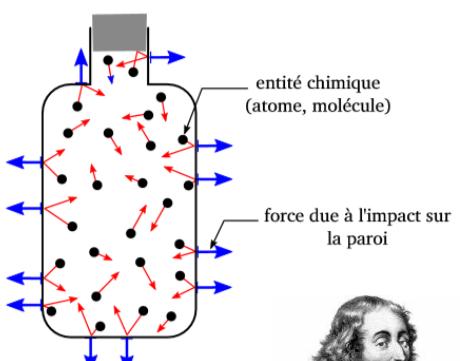
c) La pression

A cause de l'agitation thermique, les particules d'un fluide entrent constamment en **collision avec les parois** du récipient qui les contient. Ces chocs sont à l'origine d'une action mécanique exercée par le fluide sur la paroi, qui est responsable de la **pression** du fluide.

La pression d'un fluide, notée P, rend compte de la fréquence des chocs des particules contre une paroi.

Elle se mesure en **pascal** (symbole : Pa) avec un manomètre.

Plus la pression est élevée, plus la fréquence des chocs sur la paroi est importante.



Cette unité rend hommage aux travaux de Blaise Pascal (1623 – 1662) sur les fluides et la notion de pression.



L'unité légale de pression est le pascal, mais on utilise également très souvent :

- l'**hectopascal** (symbole : hPa) : $1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$, souvent utilisé en météorologie.
- le **bar** (symbole : bar...) : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1000 \text{ hPa}$.
- l'**atmosphère** (symbole : atm) : $1 \text{ atm} = 101\ 325 \text{ Pa} \approx 1 \text{ bar}$. Elle représente la pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer.

II La force pressante

L'action mécanique exercée par le fluide est modélisée par une force appelée **force pressante**. Cette force est toujours **perpendiculaire** à cette paroi et dirigée du fluide vers l'extérieur.

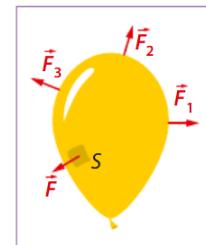
Par définition, la norme de la force pressante est donnée par la relation :

$$\mathbf{F} = \mathbf{P} \times \mathbf{S}$$

\mathbf{F} : norme de la force pressante en newton (N)

\mathbf{P} : pression du fluide en pascal (Pa)

\mathbf{S} : surface de la paroi en mètre carré (m^2)



Doc. 6.
La force pressante est perpendiculaire à la paroi.

Cette relation s'écrit également : $\mathbf{P} = \frac{\mathbf{F} \text{ (en N)}}{\mathbf{S} \text{ (en } \text{m}^2\text{)}}$

Une pression de 1 Pa correspond à une force de 1 N exercée sur 1 m^2 .

La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer vaut $1\ 013 \text{ hPa} = 101\ 300 \text{ Pa}$. Elle correspond donc à une force de $101\ 300 \text{ N}$ sur une vitre de 1 m^2 , ce qui représente le poids d'une masse d'environ 10 t !

Exercices :

- 1) Un fluide exerce une pression de $8,0 \text{ hPa}$. Il est en contact avec une paroi de $4,0 \text{ m}^2$. Calculer la force pressante exercée sur cette paroi.

Pression : $\mathbf{P} = 8,0 \times 10^2 \text{ Pa}$

Force pressante : $\mathbf{F} = \mathbf{P} \times \mathbf{S} = 8,0 \times 10^2 \times 4,0 = \underline{\underline{3,2 \times 10^3 \text{ N}}}$

- 2) Une paroi de 30 m^2 subit une force pressante de $3,0 \times 10^6 \text{ N}$. Calculer la valeur de la pression du fluide.

Pression du fluide : $\mathbf{P} = \frac{\mathbf{F}}{\mathbf{S}} = \frac{3,0 \times 10^6}{30} = \underline{\underline{1,0 \times 10^5 \text{ Pa}}}$

III La loi de Mariotte

Cette loi concerne uniquement les **gaz** qui sont **compressibles**, leur volume peut changer et dépend de la pression.

A température constante et pour une quantité de matière de gaz donnée, le produit de la pression \mathbf{P} par le volume \mathbf{V} est constant :

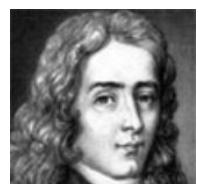
$$\mathbf{P} \times \mathbf{V} = \text{constante}$$

Cela signifie que la pression \mathbf{P} d'un gaz est inversement proportionnelle à son volume \mathbf{V} . Quand le volume \mathbf{V} d'un gaz diminue, sa pression augmente.

La constante n'est ni une constante universelle, ni une donnée de l'énoncé. Il faut toujours traduire la loi de Mariotte en considérant le gaz dans l'état initial, où la pression vaut \mathbf{P}_1 et le volume \mathbf{V}_1 , et dans l'état final où la pression vaut \mathbf{P}_2 et le volume \mathbf{V}_2 , puis écrire : $\mathbf{P}_1 \times \mathbf{V}_1 = \mathbf{P}_2 \times \mathbf{V}_2$

Remarque n°1 : Cette loi a en fait été découverte d'abord par Robert Boyle, physicien et chimiste irlandais, puis redécouverte un peu plus tard, indépendamment de Boyle par Edme Mariotte, physicien et botaniste français.

Cette loi est donc souvent appelée « **loi de Boyle-Mariotte** », et même plus simplement « **loi de Boyle** » dans le monde anglo-saxon. En France, on préfère « **loi de Mariotte** »...



Edme Mariotte
1620 - 1684

Remarque n°2 : La loi de Mariotte est un modèle qui décrit correctement des gaz aux faibles pressions. Pour des pressions importantes, il existe d'autres modèles.

Exercice : On place 50 cm^3 d'air à pression atmosphérique (1 013 hPa) dans une seringue fermée. Calculer la pression de l'air dans la seringue quand on le comprime jusqu'à un volume de 30 cm^3 .

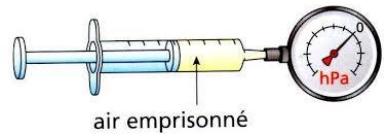
Etat initial : $P_1 = 1 013 \text{ hPa}$ $V_1 = 50 \text{ cm}^3$

Etat final : P_2 ? (en hPa) $V_2 = 30 \text{ cm}^3$

On peut laisser ces unités, car les unités de volume vont s'annuler et la pression P_2 sera en hPa.

La loi de Mariotte permet d'écrire : $P_2 = \frac{P_1 \times V_1}{V_2} = \frac{1013 \times 50}{30} = 1,7 \times 10^3 \text{ hPa}$.

Le gaz est comprimé, la pression augmente.



IV La loi fondamentale de la statique des fluides

Cette loi concerne uniquement les fluides **incompressibles**, c'est-à-dire les **liquides**, et **au repos**. On parle de statique des fluides.

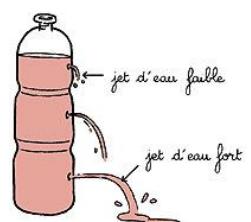
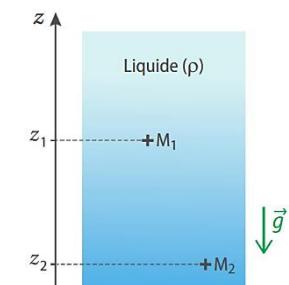
Remarque : Quand le liquide s'écoule (bouge), on parle de dynamique des fluides. Cette notion sera vue en spécialité Physique en Terminale.

On constate que plus on plonge au fond d'une piscine ou dans un océan, plus la pression est importante. La pression d'un liquide augmente avec la profondeur.

Sur le schéma, la pression au point M_2 est supérieure à la pression au point M_1 .

Dans une bouteille d'eau, la pression est plus forte au fond de la bouteille que proche de la surface. Si on perce des trous à différentes altitudes, la force pressante ($F = P \times S$) sera plus grande au fond de la bouteille, le jet d'eau qui sort sera donc plus fort.

Vidéo de l'expérience : <https://youtu.be/9V3-XeDSm0U>



On peut montrer que, dans un liquide, la différence de pressions en deux points est proportionnelle à la différence d'altitude entre les deux points.

Pour un fluide incompressible et au repos, la loi fondamentale de la statique des fluides s'écrit :

$$P_B - P_A = \rho g (z_A - z_B)$$

P_A et P_B : pressions aux points A et B en pascal (Pa)
 ρ : masse volumique du fluide en kilogramme par mètre cube (kg.m^{-3})
 g : intensité de la pesanteur en newton par kilogramme (N.kg^{-1})
 z_1 et z_2 : altitudes des points A et B en mètre (m)

Exercice : En plongeant au fond d'une piscine, on peut avoir mal aux oreilles, à cause de la pression exercée par l'eau sur les tympans. Calculer la pression au fond d'une piscine de 4,0 m de profondeur.

Données : $P_{\text{atm}} = 1 013 \text{ hPa}$ $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$

On considère un point M_1 au fond de la piscine, d'altitude $z_1 = 0 \text{ m}$ et de pression P_1 , puis un point M_2 en surface, d'altitude $z_2 = 4,0 \text{ m}$ et de pression P_2 égale à P_{atm} .

La loi fondamentale de la statique des fluides permet d'écrire :

$$P_1 - P_2 = \rho g (z_2 - z_1)$$

$$P_1 = 1000 \times 9,81 \times (4,0 - 0) + 1 013 \times 10^2 = 1,4 \times 10^5 \text{ Pa} (= 1 405 \text{ hPa})$$

