

Chapitre 09-Fluide au repos (Statique des fluides)

Nous avons vu que le domaine de la mécanique consistait à étudier le mouvement d'un système dans un référentiel donné. Les domaines principaux de la mécanique sont la mécanique du solide, qui étudie le mouvement de systèmes à l'état solide, et la mécanique des fluides, qui étudie le mouvement de systèmes fluides (liquides ou gazeux). Nous nous intéresserons dans ce chapitre à la statique des fluides, c'est-à-dire l'étude des fluides au repos.

9.1 Description microscopique et macroscopique d'un fluide

9.1.1 Définition d'un fluide

Les trois états de la matière sont l'état **solide**, **liquide** et **gazeux** (Il existe aussi un état dit « plasma » mais qui est hors programme).

En fonction du domaine de la physique étudié, on peut rapprocher les propriétés d'un liquide avec celles d'un solide, on parlera alors de **matière condensée (solides + liquides)**. Ou bien parfois, comme c'est le cas en mécanique, on rapprochera plutôt le comportement des liquides avec celui des gaz et on parle alors de **fluides (liquides + gaz)**.

La particularité d'un fluide est que les entités qui le constitue (molécules, atomes, espèces chimiques...) sont en mouvement permanent les unes par rapport aux autres, du fait de l'aspect très déformable des fluides (contrairement aux solides). Il apparaît alors difficile de suivre le mouvement de chacune des entités d'un fluide et donc l'échelle microscopique n'est pas adaptée. Dans ces conditions, on étudie le mouvement d'un fluide à une échelle plutôt macroscopique, pour laquelle on va considérer le comportement global du fluide, c'est-à-dire la moyenne du comportement des entités qui le constitue.

9.1.2 Grandeurs caractéristiques d'un fluide

Pour décrire l'état moyen d'un fluide à l'échelle macroscopique, on utilise trois grandeurs caractéristiques :

- la **masse volumique** ρ en kg.m^{-3}
- la **température** T en kelvins (K)
- la **pression** P en Pascals (Pa)

Remarques :

1. Pour passer des kelvins aux degrés celsius il faut utiliser la relation :
 $T = \theta + 273$ où T est en °C et θ en K.
2. La Pression peut également s'exprimer en bar. La conversion entre les unités est la suivante :
 $1 \text{ bar} = 1.10^3 \text{ hPa} = 1.10^5 \text{ Pa}$.
La pression atmosphérique moyenne de l'air est de $P = 1,013.10^5 \text{ Pa}$.

9.2 Lois fondamentales concernant les fluides

9.2.1 Force pressante

La pression est une grandeur qui mesure l'action mécanique exercée par le fluide sur une surface. Elle donne la répartition surfacique de la force exercée par le fluide sur les parois qui l'entourent.

Force pressante

La force pressante \vec{F} qu'exerce un fluide sur une surface S supposée plane est donnée par la relation :

$$\vec{F} = -P \times S \vec{n} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{F}{S}$$

P la pression en Pa

F la force pressante en N

S la surface en m^2

\vec{n} un vecteur unitaire normal à la surface (perpendiculaire)

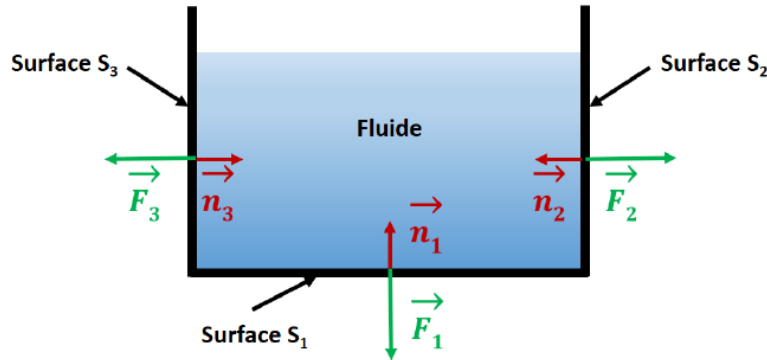


Figure 9.1 – Schéma représentant les forces pressantes exercées par un liquide sur les parois de l'enceinte qui le contient

Exemple :

Un gaz sous pression est injecté dans un récipient cylindrique de diamètre $D = 10$ cm. La pression à l'intérieur du récipient est de $P = 2$ bars.

L'intensité de la force pressante exercée par le gaz sur le couvercle du récipient est de :

$$\begin{aligned} F &= P \times S \\ &= P \times \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \\ &= 2 \cdot 10^5 \times 3,14 \times \left(\frac{10 \cdot 10^{-2}}{2} \right)^2 \\ &= 1571 \text{ N} \end{aligned}$$

9.2.2 Loi de Mariotte (pour les gaz)

Loi de Mariotte (pour les gaz)

Pour un gaz à température constante et quantité de matière constante, le produit de la pression et du volume se conserve et est donc constant :

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

Remarque : Cette constante n'est pas une constante universelle, identique pour tous les gaz dans toutes les situations. Il faut se servir du fait que $P \times V$ se conserve.

Exemple : On sait qu'une bouteille de volume $V_1 = 5,0 \text{ L}$ contient de l'hélium gazeux à une pression $P_1 = 8,0 \text{ bars}$. Quelle sera la pression dans un ballon de volume $V_2 = 10 \text{ dm}^3$ dans lequel on injecte 10% de l'hélium contenu dans la bouteille ? La température est supposée constante ici. Puisque la température est constante, et pour une quantité de matière d'hélium correspondant à 10% du volume de la bouteille, d'après la loi de Mariotte :

$$\begin{aligned}
 P_1 \times \frac{1}{10} V_1 &= P_2 \times V_2 \\
 P_2 &= \frac{P_1 \times \frac{1}{10} V_1}{V_2} \\
 P_2 &= \frac{8,0 \times \frac{1}{10} 5,0 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} \\
 P_2 &= 0,4 \text{ bars}
 \end{aligned}$$

9.2.3 Loi de la statique des fluides (essentiellement pour les liquides)

On appelle **fluide incompressible** un fluide dont la masse volumique est constante, c'est-à-dire qu'elle ne dépend ni de la pression ni de la température. Les liquides sont très peu compressibles alors que les gaz sont compressibles. On pourra donc supposer en règle générale que les liquides sont incompressibles.

Un fluide est dit **au repos ou statique** lorsqu'il est immobile à l'échelle macroscopique et microscopique.

Loi de la statique des fluides

Pour un fluide statique et incompressible de masse volumique ρ , la relation entre la pression P_1 à une altitude z_1 et la pression P_2 à une altitude z_2 est donnée par :

$$P_1 + \rho g z_1 = P_2 + \rho g z_2 \quad \Longleftrightarrow \quad \Delta P = -\rho g \Delta z$$

Avec $\Delta P = P_1 - P_2$ et $\Delta z = z_1 - z_2$

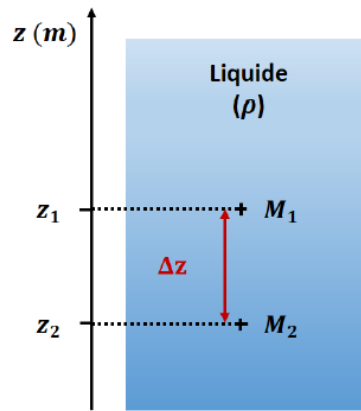


Figure 9.2 – Schéma de la situation présentée dans la loi de la statique des fluides

Exemple : Quelle est la pression, en bars, à 10,0 m de profondeur sous l'eau d'un lac au repos, sachant qu'à la surface la pression est la pression atmosphérique ?

Le lac étant au repos et rempli d'eau liquide supposée incompressible, on peut appliquer la loi de la statique des fluides, en prenant l'origine des altitudes au niveau de la surface :

$$\begin{aligned}
 P_1 + \rho g z_1 &= P_2 + \rho g z_2 \Longleftrightarrow P_2 = P_{atm} + \rho_{eau} g (z_1 - z_2) \\
 \Longleftrightarrow P_2 &= 1,013 \cdot 10^5 + 1000 \times 9,81 \times 10,0 \\
 \Longleftrightarrow P_2 &= 1,98 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,98 \text{ bars}
 \end{aligned}$$