

Fiche de cours

Fluide au repos

L'essentiel du chapitre en deux pages

définitions · lois · méthodes · à savoir par cœur

1 DÉCRIRE UN FLUIDE : DEUX ÉCHELLES

Définition. Un **fluide** est un corps qui peut s'écouler : un liquide ou un gaz. À l'échelle **microscopique**, il est formé d'entités (atomes, molécules, ions) en **agitation** désordonnée permanente. À l'échelle **macroscopique**, on le décrit par des grandeurs mesurables : masse volumique, pression, température.

Propriété. Les grandeurs macroscopiques traduisent le comportement des entités : la **température** mesure l'agitation (plus T est grande, plus les entités sont rapides) et la **pression** résulte des **chocs** incessants des entités sur les parois (plus ils sont nombreux et violents, plus la pression est grande).

$$T \text{ (K)} = \theta \text{ (}^\circ\text{C)} + 273,15 \quad ; \quad \rho = \frac{m}{V} \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3}\text{)}$$

La température absolue ne peut pas être négative : à 0 K, l'agitation serait nulle.

Remarque. Dans un gaz, les entités sont très éloignées les unes des autres (distance ≈ 10 fois leur taille) : un gaz est peu dense et **compressible**. Dans un liquide, elles sont au contact : il est dense et pratiquement **incompressible**.

2 PRESSION ET FORCE PRESSANTE

Définition. Un fluide au repos exerce sur toute surface plane d'aire S en contact avec lui une **force pressante** $\vec{F}$, *perpendiculaire à la surface, orientée du fluide vers la surface*, de valeur

$$F = P \times S \quad (F \text{ en N, } P \text{ en Pa, } S \text{ en m}^2)$$

La **pression** $P = F/S$ ne dépend pas de l'orientation de la surface : en un point donné du fluide, elle est la même dans toutes les directions.

Notation. Unités : $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$; $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$; $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1\,000 \text{ hPa}$. Pression atmosphérique normale : $P_{\text{atm}} = 1\,013 \text{ hPa} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$. Un **manomètre** indique souvent une **surpression** $\Delta P = P - P_{\text{atm}}$, et non la pression absolue.

3 LOI DE MARIOTTE

Théorème. Pour une quantité de gaz donnée, maintenue à *température constante*,

$$P \times V = \text{constante}, \quad \text{soit} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Le produit $P V$ ne dépend alors que de la quantité de gaz : si le volume est divisé par deux, la pression double. *Interprétation* : dans un volume deux fois plus petit, les entités heurtent deux fois plus souvent les parois.

Remarque. La loi n'est valable ni à très haute pression (les entités ne sont plus éloignées et s'attirent), ni si le gaz se liquéfie, ni si la température varie.

4 LOI FONDAMENTALE DE LA STATIQUE DES FLUIDES

Théorème. Dans un fluide *incompressible* au repos, de masse volumique ρ , deux points A et B d'altitudes z_A et z_B (axe vertical orienté vers le haut) vérifient

$$P_B - P_A = \rho g (z_A - z_B) \quad (P \text{ en Pa, } \rho \text{ en kg}\cdot\text{m}^{-3}, z \text{ en m, } g = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1})$$

La pression **augmente** quand on descend : sous une profondeur h d'un liquide surmonté de l'air, $P = P_{\text{atm}} + \rho g h$.

Propriété. Deux points d'un *même* fluide au repos situés à la *même altitude* sont à la même pression, quelle que soit la forme du récipient. La pression ne dépend donc que de la profondeur (paradoxe hydrostatique).

Méthode — résoudre un problème de statique. repérer le fluide concerné et deux points bien choisis (surface libre, où $P = P_{\text{atm}}$; point cherché ; ou deux points d'un même niveau dans un tube en U), puis écrire la loi entre ces deux points. Applications : plongée (1 bar de plus tous les 10 m d'eau), poussée sur un barrage, baromètre, tube en U pour mesurer une masse volumique.

■ DONNÉES — Valeurs de référence

$g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ • $P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$ • $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho_{\text{mer}} = 1,03 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;
 $\rho_{\text{mercure}} = 13,6 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ • $1 \text{ L} = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ • $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273,15$.

5 SAVOIR-FAIRE DU CHAPITRE

► SAVOIR-FAIRE

- Distinguer descriptions microscopique et macroscopique; interpréter pression et température à l'échelle des entités.
- Convertir une température en kelvins, une pression en Pa, hPa ou bar; distinguer pression absolue et surpression.
- Calculer et représenter une force pressante sur une surface plane.
- Exploiter la loi de Mariotte pour un gaz comprimé ou détendu à température constante.
- Exploiter la loi fondamentale de la statique des fluides (profondeur, tube en U, barrage, plongée).
- Tester une loi à partir de mesures : modélisation affine ou linéaire, comparaison à une valeur de référence avec son incertitude.

6 EXEMPLES TYPES

★ EXEMPLE — force pressante sur une vitre

Une vitre de 1,20 m sur 0,90 m a pour aire $S = 1,08 \text{ m}^2$. L'air extérieur exerce $F = P_{\text{atm}} \times S = 1,013 \times 10^5 \times 1,08 = 1,1 \times 10^5 \text{ N}$, soit le poids de 11 t ! La vitre ne casse pas car l'air intérieur exerce une force opposée de même valeur. Si la pression extérieure tombe à 960 hPa, l'air intérieur restant à 1 013 hPa, la force *résultante* vaut $\Delta P \times S = 5,3 \times 10^3 \times 1,08 = 5,7 \times 10^3 \text{ N}$, dirigée vers l'extérieur.

★ EXEMPLE — loi de Mariotte

Une pompe bouchée contient $V_1 = 450 \text{ mL}$ d'air sous $P_1 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$. On enfonce lentement le piston jusqu'à $V_2 = 150 \text{ mL}$, à température constante : $P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = \frac{1,0 \times 10^5 \times 450}{150} = 3,0 \times 10^5 \text{ Pa} = 3,0 \text{ bar}$.

★ EXEMPLE — pression dans l'eau

Dans une fosse d'eau douce, la surface libre A est à $P_A = P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$. Au point B, à 2,0 m de profondeur : $P_B = P_A + \rho g h = 1,013 \times 10^5 + 1,00 \times 10^3 \times 9,81 \times 2,0 = 1,21 \times 10^5 \text{ Pa}$. Au fond, à 5,0 m : $P_C = 1,50 \times 10^5 \text{ Pa}$. Descendre d'un mètre ajoute $\rho g \times 1 \text{ m} = 9,81 \times 10^3 \text{ Pa}$, soit environ 0,1 bar.

★ EXEMPLE — tube en U

Un tube en U ouvert contient de l'eau; on verse dans la branche de gauche une huile non miscible, qui forme une colonne de hauteur $h_h = 12,0 \text{ cm}$ au-dessus de la surface de séparation A. Dans l'autre branche, la surface libre de l'eau est à $h_e = 11,0 \text{ cm}$ au-dessus du point B, situé à la *même altitude* que A. Ces deux points appartiennent à la même eau au repos, donc $P_A = P_B$, d'où $\rho_h g h_h = \rho_{\text{eau}} g h_e$ et $\rho_h = \rho_{\text{eau}} \frac{h_e}{h_h} = 917 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

✗ PIÈGES

- Oublier la pression atmosphérique au-dessus du liquide : à la profondeur h , $P = P_{\text{atm}} + \rho g h$, et non $\rho g h$.
- Employer des centimètres ou des hectopascals dans $F = P \times S$ ou dans la loi de la statique des fluides : P en Pa, S en m^2 , z en m, ρ en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. (Dans $P_1 V_1 = P_2 V_2$, il suffit d'employer la même unité de chaque côté.)
- Appliquer la loi de la statique entre deux points séparés par un *autre* fluide : elle ne vaut que dans un même fluide de masse volumique constante.
- Croire que la pression au fond dépend de la forme ou du volume du récipient : elle ne dépend que de la profondeur.
- Appliquer la loi de Mariotte en oubliant que la température doit rester constante, ou en utilisant la surpression au lieu de la pression absolue.