

Poussée d'Archimède

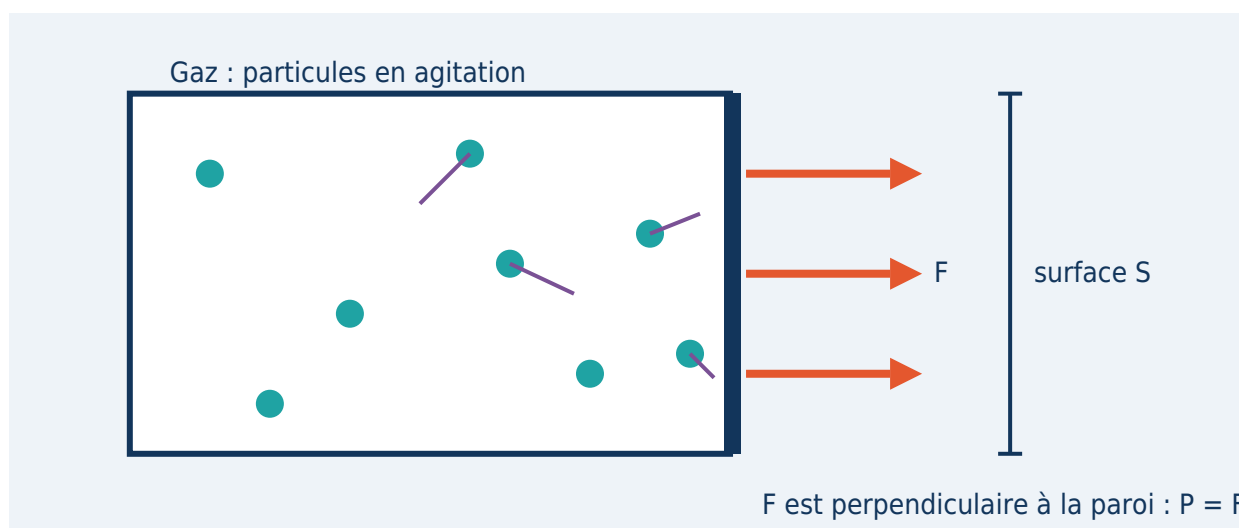
Cours de sciences physiques - niveau Terminale

*Un cargo de douze mille tonnes flotte, une pièce de monnaie coule, et en plongée les oreilles font mal dès quelques mètres. Ces trois faits ont la même origine : un fluide au repos exerce des forces sur tout ce qui le touche. Ce cours construit pas à pas la pression, la relation fondamentale de la statique des fluides, puis la **poussée d'Archimède**, avec des calculs rigoureux en unités du SI.*

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

La pression dans un fluide

Un **fluide** est un milieu qui s'écoule et épouse la forme de son contenant : un liquide ou un gaz. Au niveau microscopique, ses entités (molécules, atomes) sont en agitation permanente et heurtent sans cesse les parois. La somme de ces chocs se traduit, à notre échelle, par une force **pressante** qui s'exerce sur chaque élément de surface.



Les chocs des particules sur la paroi produisent une force pressante F , toujours perpendiculaire à la surface S .

DÉFINITION

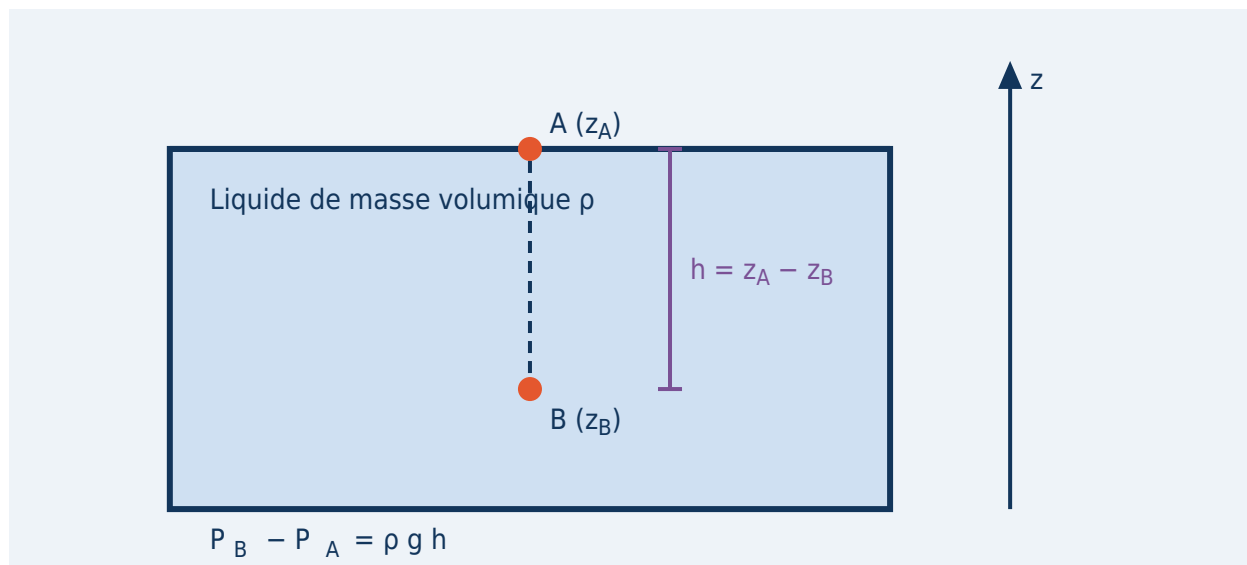
La **pression** P exercée par un fluide sur une surface S est le quotient de la valeur F de la force pressante par l'aire S de la surface : $P = F \div S$. Elle s'exprime en **pascals** (Pa) : $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. On utilise aussi l'hectopascal ($1 \text{ hPa} = 10^2 \text{ Pa}$) et le bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$).

APPLICATION NUMÉRIQUE

L'atmosphère exerce en moyenne $P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$. Sur une vitre de $0,50 \text{ m}^2$, la force pressante vaut $F = P \times S = 1,013 \times 10^5 \times 0,50 \approx \mathbf{5,1 \times 10^4 \text{ N}}$, soit le poids d'une masse d'environ 5 tonnes. La vitre ne casse pas car l'air exerce la même force de l'autre côté.

La relation fondamentale de la statique des fluides

Dans un liquide au repos, la pression augmente avec la profondeur : chaque couche supporte le poids de celles qui sont au-dessus. En plongée, on le ressent à peine à 1 m mais nettement à 10 m.



Dans un liquide au repos, la pression est plus grande au point le plus profond : $P_B - P_A = \rho g h$.

FORMULE À RETENIR

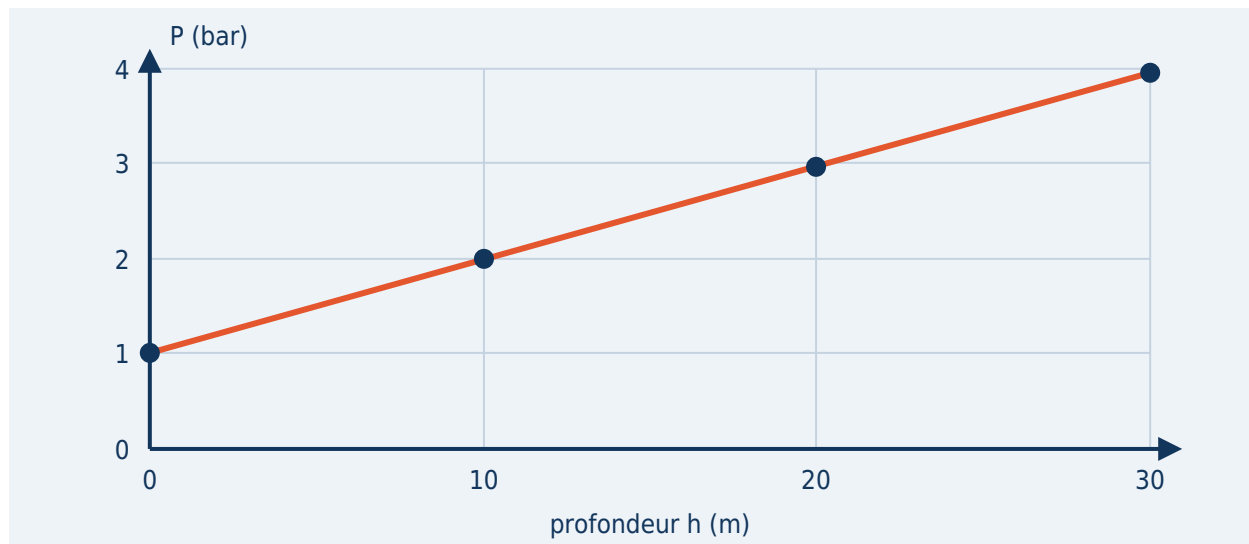
$$P_B - P_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$$

P en pascals (Pa), ρ masse volumique du fluide en kg/m^3 , $g = 9,81 \text{ N/kg}$, altitudes z en mètres sur un axe orienté vers le haut. Valable pour un fluide **incompressible** (liquide) **au repos**, entre deux points reliés par le même fluide.

Conséquence : tous les points d'un même fluide situés à la **même altitude** ont la même pression. Pour un gaz comme l'air, la masse volumique est faible ($1,20 \text{ kg/m}^3$) : sur quelques mètres, la variation de pression est négligeable.

APPLICATION NUMÉRIQUE

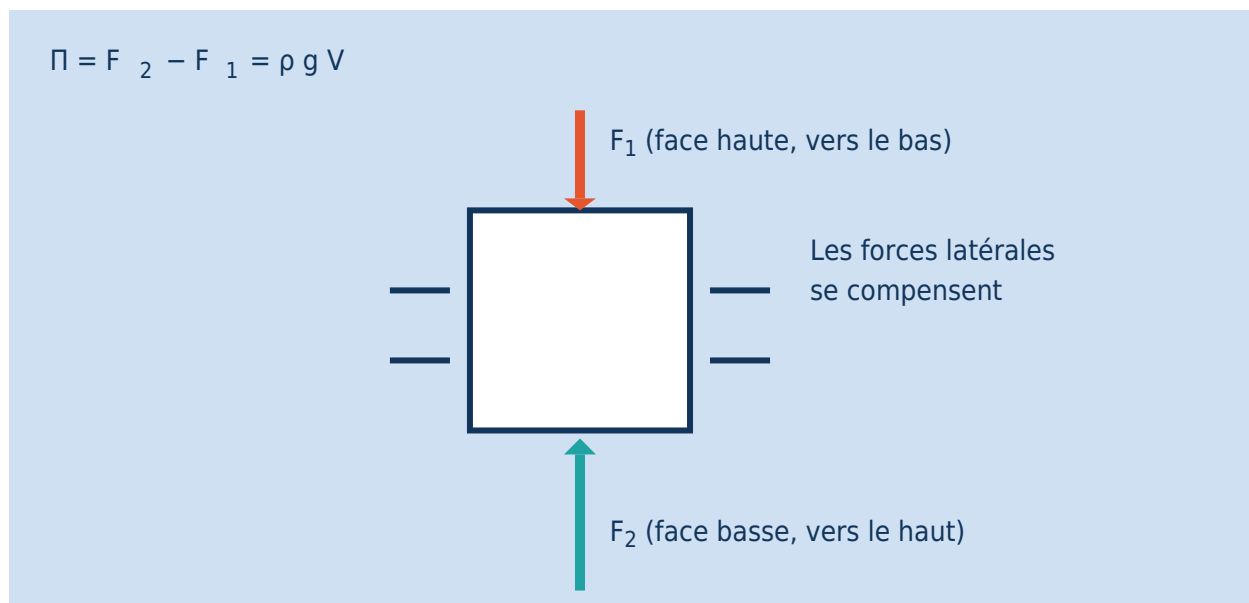
Un plongeur est à 10,0 m de profondeur dans un lac ($\rho = 1,00 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$). La surface est à la pression $P_{\text{atm}} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$. Alors $P - P_{\text{atm}} = 1,00 \times 10^3 \times 9,81 \times 10,0 = 9,81 \times 10^4 \text{ Pa}$, donc $\mathbf{P \approx 1,99 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 2,0 \text{ bar}}$: la pression double en 10 m d'eau.



Dans l'eau, la pression augmente de 0,98 bar tous les 10 m : c'est une fonction affine de la profondeur.

La poussée d'Archimède

Tout corps plongé dans un fluide au repos subit, de la part de ce fluide, une force verticale dirigée vers le haut : c'est ce qui allège un objet dans l'eau. Elle provient de la différence de pression entre le bas et le haut de l'objet.



La face basse, plus profonde, subit une pression plus grande que la face haute : la résultante est dirigée vers le haut.

LOI

Théorème d'Archimède. Tout corps plongé, totalement ou partiellement, dans un fluide au repos subit une force verticale, dirigée vers le haut, appelée **poussée d'Archimède**. Sa valeur est égale au poids du fluide déplacé ; elle s'applique au centre de gravité du volume de fluide déplacé.

FORMULE À RETENIR

$$\Pi = \rho_{\text{fluïde}} \times V_{\text{immergé}} \times g$$

Π en newtons (N), $\rho_{\text{fluïde}}$ en kg/m^3 , $V_{\text{immergé}}$ en m^3 , $g = 9,81 \text{ N/kg}$.

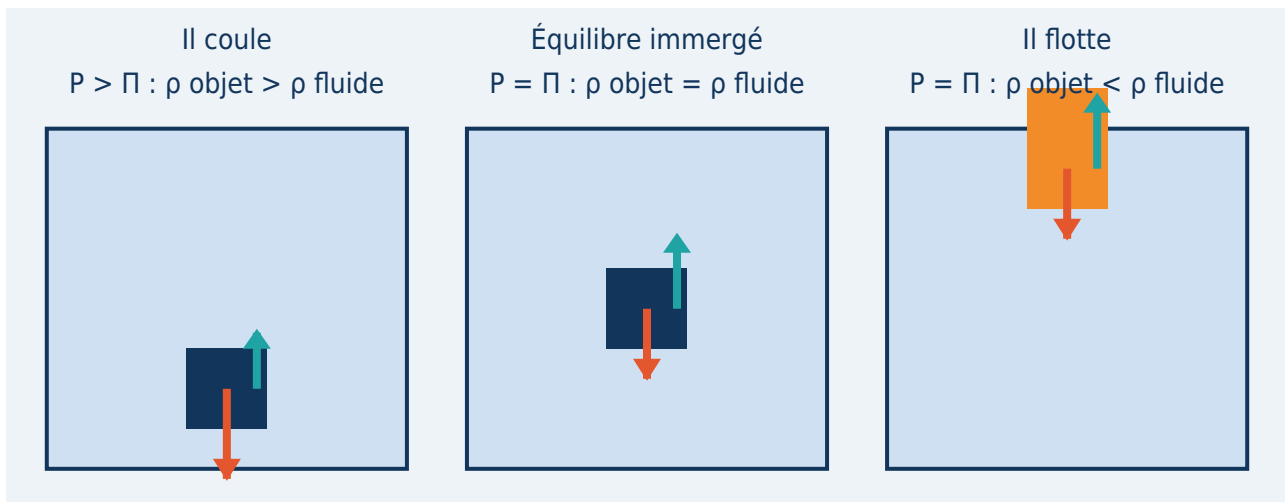
Démonstration pour un cube. Soit un cube d'arête a , face supérieure à la profondeur z_1 (sous la surface) et face inférieure à $z_1 + a$. Les forces pressantes latérales se compensent deux à deux. Reste $F_2 - F_1 = (P_2 - P_1) \times a^2 = \rho g a \times a^2 = \rho g a^3 = \rho g V$. On retrouve bien le poids du fluide déplacé.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Un bloc d'aluminium de volume $V = 2,0 \text{ dm}^3 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ($\rho = 2,70 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) est entièrement plongé dans l'eau. Poussée : $\Pi = 1,00 \times 10^3 \times 2,0 \times 10^{-3} \times 9,81 \approx \mathbf{19,6 \text{ N}}$. Masse du bloc : $m = \rho V = 5,4 \text{ kg}$, poids $P = 5,4 \times 9,81 \approx 53 \text{ N}$. Un dynamomètre indiquerait un **poids apparent** $P_{\text{app}} = P - \Pi \approx 33 \text{ N}$.

Flottaison et masse volumique

Un objet plongé est soumis à deux forces verticales : son poids P (vers le bas, appliqué au centre de gravité de l'objet) et la poussée Π (vers le haut). Comparer leurs valeurs revient à comparer les masses volumiques.



Flèche rouge : poids ; flèche verte : poussée d'Archimède. La flottaison dépend du rapport des masses volumiques.

Matériau	Masse volumique ρ (kg/m^3)
Air (20 °C)	1,20
Bois de chêne	$\approx 7,5 \times 10^2$
Glace	$9,17 \times 10^2$
Eau douce	$1,00 \times 10^3$
Eau de mer	$1,03 \times 10^3$

Aluminium	$2,70 \times 10^3$
Fer	$7,87 \times 10^3$

MÉTHODE

Un objet **flotte** à l'équilibre si $\rho_{\text{objet}} < \rho_{\text{fluide}}$. À l'équilibre, poids et poussée sont égaux : $\rho_{\text{objet}} V g = \rho_{\text{fluide}} V_{\text{imm}} g$, d'où la **fraction immergée** $V_{\text{imm}} \div V = \rho_{\text{objet}} \div \rho_{\text{fluide}}$.

EXEMPLE

Un glaçon ($\rho = 917 \text{ kg/m}^3$) flotte dans l'eau douce : fraction immergée = $917 \div 1\,000 = \mathbf{0,917}$, soit 91,7 %. Dans l'eau de mer : $917 \div 1\,030 \approx \mathbf{0,890}$, soit 89,0 % ; il émerge donc un peu plus.

Applications et erreurs fréquentes

Un **sous-marin** règle sa flottabilité en remplissant ou en vidant des ballasts : il modifie son poids sans changer son volume. Un **ballon à air chaud** s'élève parce que l'air chaud qu'il contient est moins dense que l'air extérieur : la poussée de l'air dépasse le poids total. Un **iceberg** n'émerge que d'environ 10 % de son volume. L'**aéromètre** (densimètre) mesure la masse volumique d'un liquide d'après son enfoncement.

ERREUR FRÉQUENTE

La poussée d'Archimède ne dépend **pas** de la masse ni de la masse volumique de l'objet, mais de la masse volumique du **fluide** et du volume **immergé**. Autre piège : un objet lourd peut flotter (un bateau) si son volume est assez grand, c'est la masse volumique moyenne qui compte. Enfin, ne confonds pas la pression (en Pa) et la force pressante (en N).

L'essentiel à retenir

- Pression : $P = F \div S$, en pascals ; $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$; la force pressante est perpendiculaire à la surface.
- Fluide incompressible au repos : $P_B - P_A = \rho g (z_A - z_B)$; même altitude, même pression.
- Poussée d'Archimède : verticale, vers le haut, $\Pi = \rho_{\text{fluide}} V_{\text{immergé}} g$, égale au poids du fluide déplacé.
- Poids apparent : $P_{\text{app}} = P - \Pi$.
- Flottaison : $\rho_{\text{objet}} < \rho_{\text{fluide}}$; fraction immergée = $\rho_{\text{objet}} \div \rho_{\text{fluide}}$.
- Toujours convertir les volumes en m^3 et les masses volumiques en kg/m^3 .