3 La poussée d'Archimède

3.1 Mise en évidence expérimentale

Mesurons le poids P d'un corps à l'aide d'un dynamomètre. Puis plongeons le corps dans de l'eau (ou dans un autre liquide) :

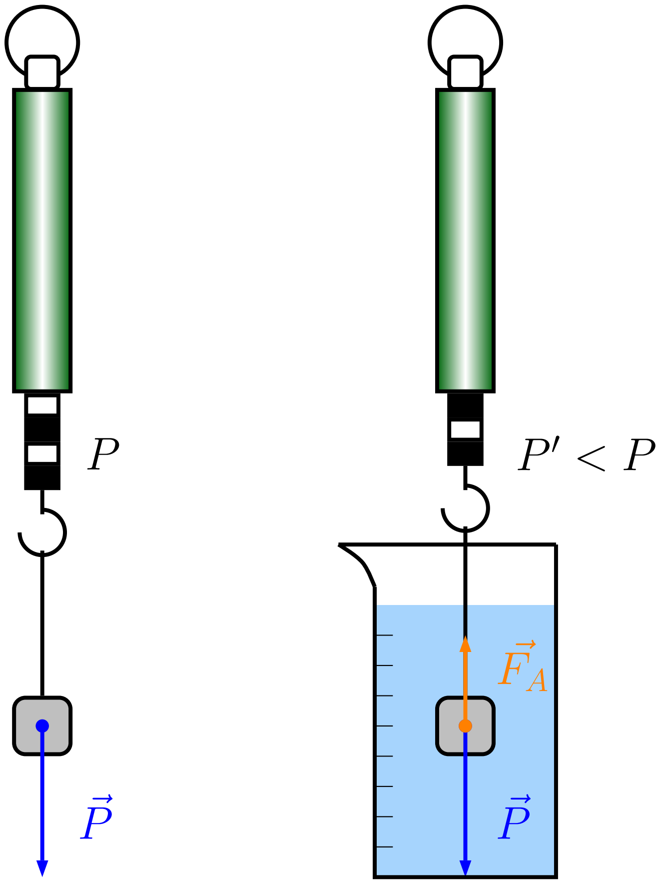

FIGURE II.13 – Poids et poids apparent

On constate que le poids du corps plongé dans le liquide *semble* être devenu plus petit. Cependant, il est évident que le poids $\vec{P}$ n'a pas changé, comme la Terre attire le corps toujours avec la même intensité.
Il doit donc y avoir une force supplémentaire, exercée par le liquide sur le corps. Cette force doit être *verticale* et orientée *vers le haut* (elle s'oppose au poids). Cette force s'appelle **poussée d'Archimède**. Elle est représentée par le vecteur $\vec{F_A}$.

La force mesurée par le dynamomètre lorsque le corps plonge dans le liquide est le **poids apparent** $\vec{P'}$. C'est la *force résultante* du poids $\vec{P}$ et de la poussée d'Archimède $\vec{F_A}$:

$$\vec{P'} = \vec{P} + \vec{F_A} \quad et \quad P' = P - F_A$$

Il en résulte que l'intensité de la poussée d'Archimède vaut :

$$F_A = P - P'$$

On constate de plus que *la poussée d'Archimède est indépendante de la profondeur d'immersion et de l'orientation du corps dans le liquide.*

3.2 Le principe d'Archimède

3.2.1 Expérience

A l'aide d'un dynamomètre, mesurons le poids P d'un solide : $P =$

Plongeons ensuite le solide dans un bécher «trop-plein», rempli d'eau (ou d'un autre liquide) et recueillons l'eau déplacée dans un autre récipient.

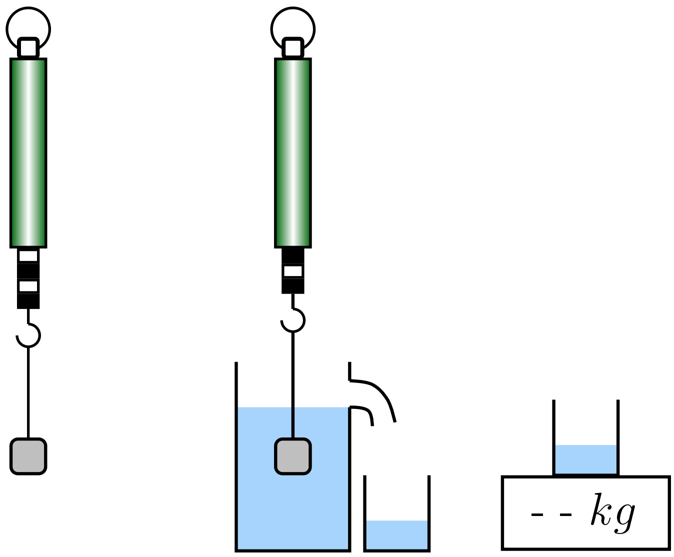

FIGURE II.14 – Mesure du poids du liquide déplacé

Mesurons le poids apparent : $P' =$

Nous en déduisons la valeur de la poussée d'Archimède : $F_A = P - P' =$

A l'aide d'une balance, déterminons la masse du liquide déplacé : $m_{liq.\,dépl.} =$

Le poids du liquide déplacé vaut alors : $P_{liq.\,dépl.} = m_{liq.\,dépl.} \cdot g =$

Conclusion :

3.2.2 Le principe d'Archimède

Tout corps solide complètement immergé dans un liquide en équilibre subit de la part du liquide une poussée verticale ascendante dont l'intensité est égale au poids du liquide déplacé.

$$F_A = P_{liq.\,dépl.}$$

Le volume du liquide déplacé est égal au volume du corps V.

Donc : $P_{liq.\,dépl.} = m_{liq.\,dépl.} \cdot g = \rho_{liq.} \cdot V \cdot g$.

Finalement, on peut facilement calculer la poussée d'Archimède par la formule :

$$F_A = \rho_{liq.} \cdot g \cdot V$$

avec $\rho_{liq.}$ la masse volumique *du liquide* et V le volume *du corps*.

3.2.3 Etablissement théorique de la formule d'Archimède

Soit un parallélépipède de base S et de hauteur h, plongé dans un liquide de masse volumique $\rho_{liq.}$.

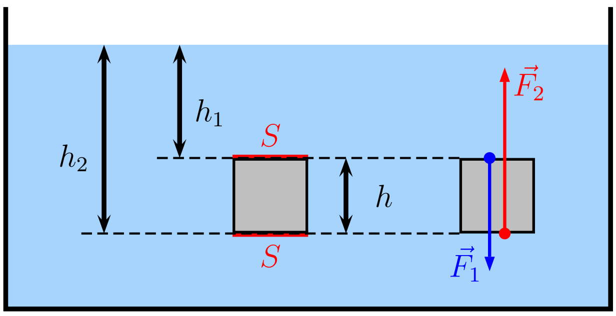

FIGURE II.15 – Parallélépipède immergé dans un liquide

La face supérieure se trouve à une profondeur h_1, la face inférieure à une profondeur $h_2 (= h_1 + h)$.

La pression hydrostatique à la profondeur h_1 vaut : $p_1 = \rho_{liq.} \cdot g \cdot h_1$
En h_2, elle vaut : $p_2 = \rho_{liq.} \cdot g \cdot h_2$

Le liquide exerce donc la force pressante ascendante $\vec{F_2}$ sur la face inférieure telle que :

$$F_2 = p_2 \cdot S = \rho_{liq.} \cdot g \cdot h_2 \cdot S$$

De même : La norme de la force pressante descendante $\vec{F_1}$ exercée par le liquide sur la face supérieure vaut :

$$F_1 = p_1 \cdot S = \rho_{liq.} \cdot g \cdot h_1 \cdot S$$

Comme $F_2 > F_1$, le corps est soumis à une force résultante $\vec{F_A} = \vec{F_1} + \vec{F_2}$ dirigée vers le haut et de norme :

$$\begin{aligned} F_A = F_2 - F_1 &= \rho_{liq.} \cdot g \cdot S \cdot (h_2 - h_1) && |\ \text{or : } h_2 - h_1 = h \\ &= \rho_{liq.} \cdot g \cdot S \cdot h && |\ \text{or : } S \cdot h = V \text{ (volume du corps)} \\ &= \rho_{liq.} \cdot g \cdot V \end{aligned}$$

On retrouve la formule de 3.2.2. On peut montrer que cette formule reste valable pour toute autre forme que pourrait avoir le corps immergé.

Remarque : on ne doit pas considérer les forces pressantes sur les *faces latérales*, comme celles-ci se compensent mutuellement.

3.3 Corps flottants

Un corps solide immergé dans un liquide en équilibre est soumis à deux forces verticales et de sens contraires : son poids $\vec{P}$ et la poussée d'Archimède $\vec{F_A}$.

Remarque : On suppose que le corps solide est homogène. Dans ce cas, son centre de gravité et son centre de poussée se confondent.

Trois cas peuvent se présenter :

1. Le poids est *plus grand* que la poussée d'Archimède. Le corps va descendre *vers le bas*.

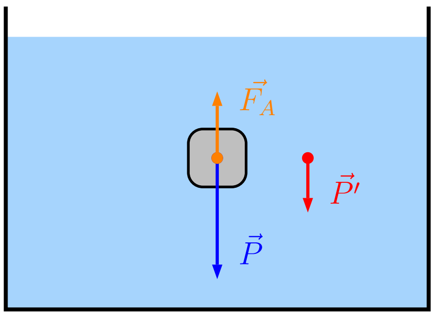

FIGURE II.16 – Corps qui coule

$$\begin{aligned} & P > F_A && |\ \text{or : } P = m \cdot g = \rho_{corps} \cdot V \cdot g \text{ et } F_A = \rho_{liq.} \cdot g \cdot V \\ \Leftrightarrow\ & \rho_{corps} \cdot g \cdot V > \rho_{liq.} \cdot g \cdot V \\ \Leftrightarrow\ & \rho_{corps} > \rho_{liq.} \end{aligned}$$

Si la masse volumique d'un corps est plus grande que la masse volumique du liquide dans lequel le corps est plongé, le corps va descendre vers le bas (il va couler).

2. Le poids est *plus petit* que la poussée d'Archimède. Le corps va monter *vers le haut*.

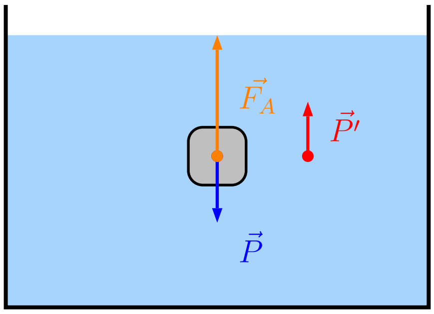

FIGURE II.17 – Corps qui nage

$$\begin{aligned} & P & < & F_A \\ \Leftrightarrow & \rho_{corps} & < & \rho_{liq.} \end{aligned}$$

Si la masse volumique d'un corps est plus petite que la masse volumique du liquide dans lequel le corps est plongé, le corps va monter à la surface du liquide (il va nager).

3. Le poids est *égal* à la poussée d'Archimède. Le corps va rester *entre deux eaux*.

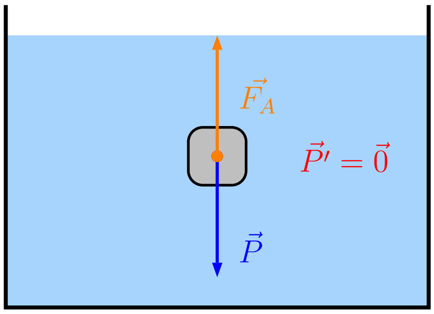

FIGURE II.18 – Corps qui flotte

$$\begin{aligned} & P & = & F_A \\ \Leftrightarrow & \rho_{corps} & = & \rho_{liq.} \end{aligned}$$

Si la masse volumique d'un corps est égale à la masse volumique du liquide dans lequel le corps est plongé, le corps va flotter, c'est-à-dire il ne va ni descendre vers le bas, ni monter vers le haut.

Ce principe est utilisé par l'homme et dans la nature. Exemples :

— Les **bateaux** sont construits tels que le poids de l'eau déplacé (et donc la poussée d'Archimède) est supérieur au poids du bateau. Bien qu'un bateau est construit de matériaux lourds (fer, ...), donc à masse volumique élevée, sa masse volumique moyenne est inférieure à celle de l'eau. En effet, il faut considérer la masse volumique *moyenne* du bateau, et cette dernière est relativement faible ($< 1000\ ^{\mathrm{kg}}/_{\mathrm{m}^3}$), comme le bateau contient surtout de l'air ($\rho_{air} = 1,29\ ^{\mathrm{kg}}/_{\mathrm{m}^3}$).

— La poussée d'Archimède d'un **sous-marin** est constante. Si on veut descendre le sous-marin, il faut donc augmenter son poids, ce qui est fait en remplissant sa double-paroi extérieure par de l'eau (on remplace l'air dans cette double paroi par de l'eau ce qui fait augmenter la *masse volumique moyenne* à une valeur supérieure à celle de l'eau. Si on veut monter à la surface, il faut de nouveau remplacer l'eau dans la double-paroi par de l'air. A cette fin, des réservoirs à air comprimé se trouvent à bord. Enfin, pour rester entre deux eaux, on remplit la chambre d'air avec autant d'eau pour que le poids soit exactement égal à la poussée d'Archimède. Dans ce cas, la *masse volumique moyenne* du sous-marin est exactement égale à celle de l'eau.

— Les **poissons** peuvent descendre ou monter dans l'eau grâce à leur *vessie natatoire („Schwimmblase")*. Ce sac est rempli de dioxygène (O_2), de dioxyde de carbone (CO_2) et de diazote (N_2). Certains poissons absorbent de l'air pour contrôler le volume de gaz qu'ils ont dans leur vessie natatoire. Si le volume d'air augmente, la *masse volumique moyenne* du poisson diminue (en effet, sa masse reste constante, mais son volume augmente), et le poisson monte vers le haut. Inversement, ils peuvent évacuer rapidement du gaz pour descendre. D'autres poissons contrôlent le volume de gaz grâce à des processus physiques et chimiques (échange de gaz avec le sang, ...).