

Poussée d'Archimède

Ce qu'il faut savoir sur...

1 le théorème d'Archimède

a) Énoncé du théorème

Un corps immergé dans un liquide au repos a un poids apparent P' inférieur à son poids réelle P (fig. 1). Il reçoit du liquide un ensemble de forces pressantes dont la résultante est appelée poussée d'Archimède.

Les caractéristiques de la poussée d'Archimède F_a sont telles que :

- sa direction est verticale, orientée vers le haut ;
- elle est appliquée au centre de gravité du volume de liquide déplacé (centre de poussée) ;
- son intensité, égale au poids du volume V de liquide déplacé, est donnée par la relation :

$$F_a = \rho_0 \cdot g \cdot V$$

ρ_0 est la masse volumique du liquide (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ; g l'intensité de la pesanteur ($\text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$) ; V le volume immergé (m^3).

b) Poids apparent du solide immergé

Le solide immergé a un poids apparent P' inférieur à son poids réel P : $P' = P - F_a$ (fig.1).

c) Origine de la poussée d'Archimède

La poussée d'Archimède résulte de l'ensemble des forces pressantes qui s'exercent en tous points de la surface immergée. La pression augmentant avec la profondeur d'immersion, les forces exercées de bas en haut ont une intensité supérieure à celle exercées de haut en bas. La résultante est donc orientée vers le haut (fig.2).

Un corps immergé dans un liquide reçoit une poussée verticale, orientée vers le haut, d'intensité égale au poids de liquide déplacé, et appliquée au centre de gravité du volume de liquide déplacé.

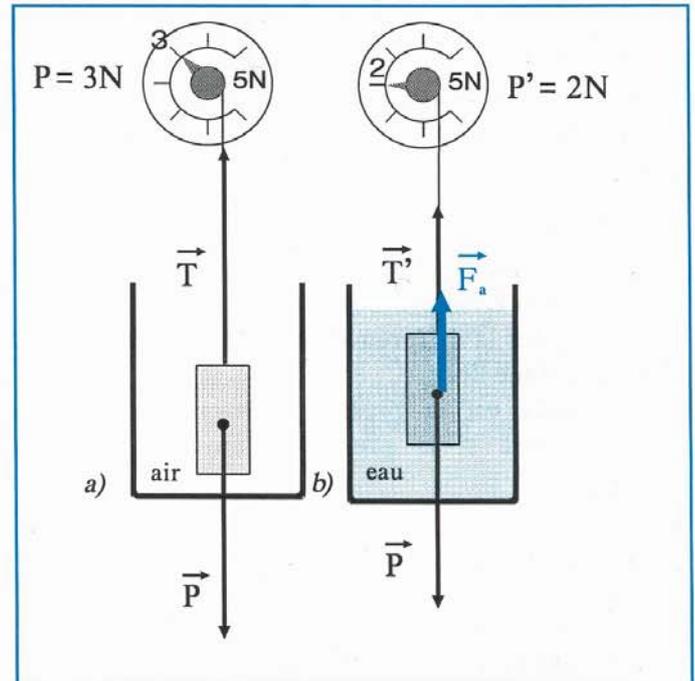


Fig. 1. Poussée d'Archimède et poids apparent.
a) Le dynamomètre mesure le poids réel $P = T = 3 \text{ N}$.
b) Le dynamomètre indique le poids apparent $P' = T' = 2 \text{ N}$. Le corps immergé reçoit donc une poussée de $F_a = P - P' = 1 \text{ N}$.

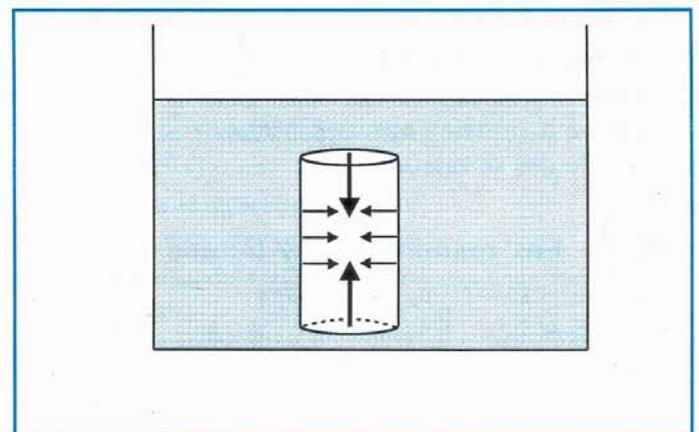


Fig. 2. Forces pressantes sur un solide immergé.

2 les corps flottants. Densimètres

a) Un corps flottant est en équilibre, son poids et la poussée d'Archimède sont donc opposés : $\vec{P} + \vec{F}_a = \vec{0}$ donc $P = F_a$.

Le corps flottant a donc un poids apparent nul et sa masse est égale à la masse de liquide déplacé (fig. 3).

b) Condition de flottaison

Pour qu'un corps puisse flotter, il faut que la poussée d'Archimède qu'il reçoit, quand il est entièrement immergé, soit au moins égale à son poids, soit : $F_a \geq P$

Soit V le volume du solide totalement immergé, et ρ sa masse volumique. V est également le volume de liquide déplacé, de masse volumique ρ_0 .

La condition de flottaison s'écrit :

$$\rho_0 \cdot g \cdot V \geq \rho \cdot g \cdot V \text{ soit } \rho \leq \rho_0$$

Un corps flotte dans un liquide si sa masse volumique ρ est inférieure à celle ρ_0 du liquide.

c) Les densimètres sont des corps flottants lestés, comportant une mince tige graduée. La profondeur d'immersion de la tige dépend de la densité du liquide (fig.4).

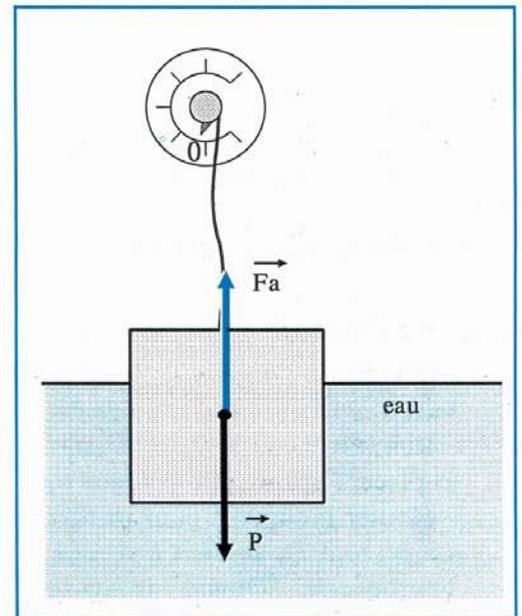


Fig. 3. Equilibre d'un corps flottant. Le poids apparent $P' = P - F_a$ est nul. Le fil du dynamomètre n'est pas tendu.

3 la poussée d'Archimède dans les gaz

3.1 Généralités

Le théorème d'Archimède s'applique à tout corps plongé dans un gaz en équilibre, et en particulier dans l'air.

Dans les conditions ordinaires, la masse volumique de l'air est environ 1000 fois plus faible que celle de l'eau. La poussée d'Archimède est donc négligeable pour les solides usuels. Cependant, les pesées de précision doivent être faites sous vide d'air, ou en tenant compte d'une correction de poussée.

3.2 Aérostats

Les aérostats (les "plus légers que l'air"), comportent une nacelle accrochée à une volumineuse enveloppe contenant un gaz moins dense que l'air ambiant : hydrogène, hélium ou air chaud. Tant que la poussée d'Archimède dans l'air ambiant est supérieure au poids, le ballon prend de l'altitude sous l'action d'une force ascensionnelle $\pi = F_a - P$.

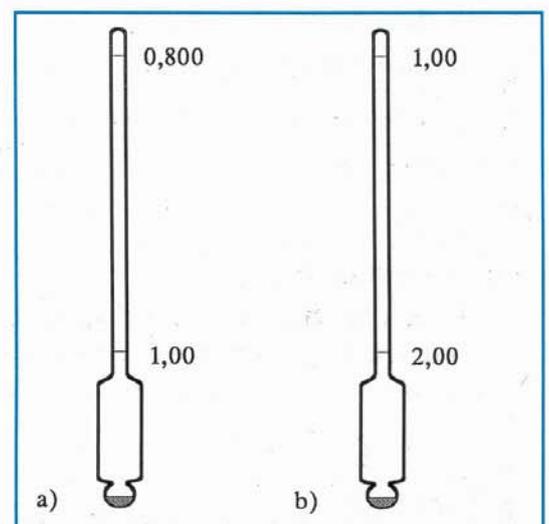


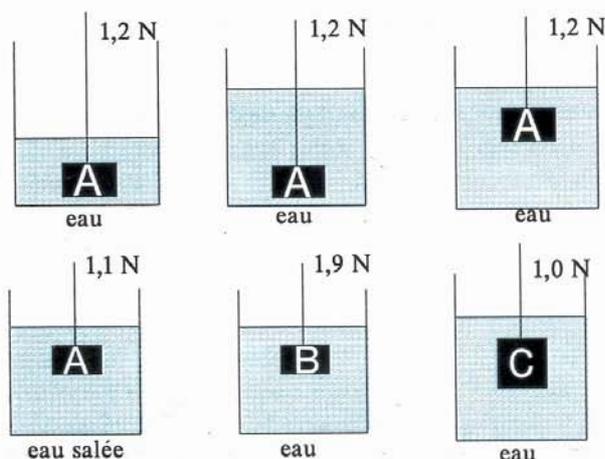
Fig. 4. Densimètres pour liquides moins denses (a) et plus denses (b) que l'eau.

Tests

Vérifiez vos connaissances sur...

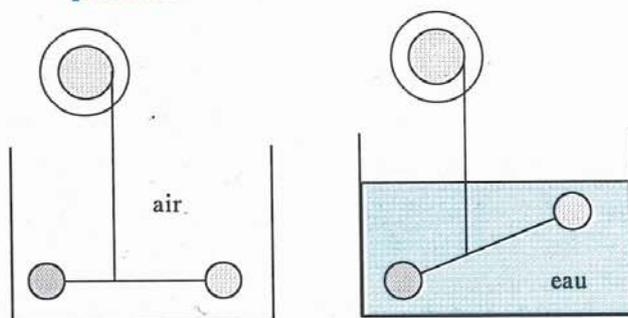
Sauf indication contraire, on prendra pour intensité de la pesanteur $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ et pour masse volumique de l'eau pure $\rho = 1,0 \text{ kg.L}^{-1}$.

1 les facteurs dont dépend la poussée d'Archimède



Trois corps A, B, et C de poids respectifs $P_A = P_C = 1,8 \text{ N}$ et $P_B = 2,5 \text{ N}$ sont immergés dans de l'eau puis dans de l'eau salée. Déduisez des observations les facteurs dont dépend ou dont ne dépend pas la poussée d'Archimède.

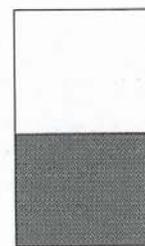
2 la mise en évidence du centre de poussée



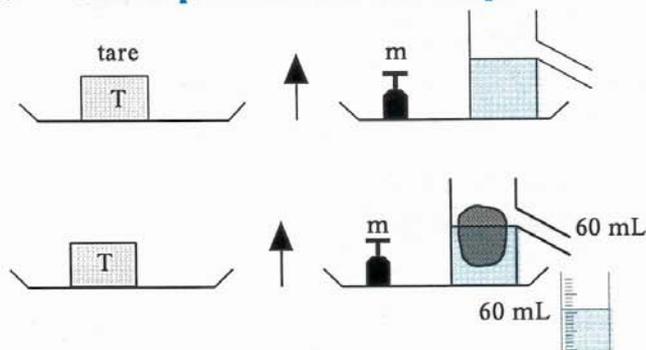
Comparez les équilibres dans l'air et dans l'eau du solide composé d'une sphère de métal et d'une sphère de bois. Quelles sont les positions relatives du centre de gravité du solide et du centre de poussée.

3 les forces appliquées à un corps immergé

Une boîte d'aluminium de masse négligeable est lestée à l'aide de mortier de ciment de densité 3, puis totalement immergée dans de l'eau pure. Représentez avec la même échelle les vecteurs poids, poussée d'Archimède et tension du fil, appliqués au solide immergé.



4 une expérience sur les corps

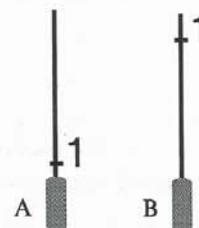


Après avoir réalisé le premier équilibre, on pose l'objet flottant sur l'eau du vase à trop plein. Après écoulement de l'eau par le trop plein, on retrouve l'équilibre.

- Quelle conclusion tirez-vous de cette expérience ?
- Peut-on déduire le volume du corps flottant ? sa masse ?

5 le principe des densimètres

- Rappelez le principe des densimètres.
- Précisez et expliquez quel densimètre est adapté pour mesurer des densités de liquide de 0,80 à 1,00 ? de 1,00 à 1,40 ?



Exercices

Appliquez vos connaissances

6 Calculs sur la poussée d'Archimède

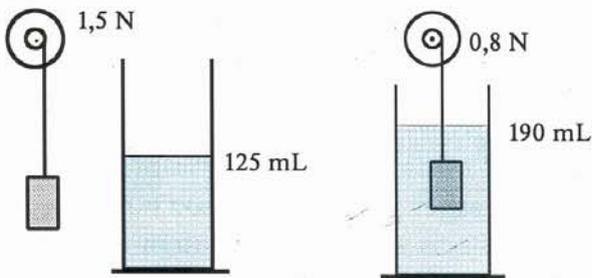
Reportez-vous aux schémas du test 1.

- Calculez les volumes des corps A, B et C.
- Quelles sont leurs masses volumiques ?
- Déterminez la masse volumique de l'eau salée.

c) L'enveloppe et la nacelle ont une masse de 625 kg. Quelle est la force ascensionnelle s'exerçant sur l'ensemble ?

d) Déduisez la charge utile maximale embarquée pour conserver au lâcher du ballon une force ascensionnelle résultante de 1000 N ?

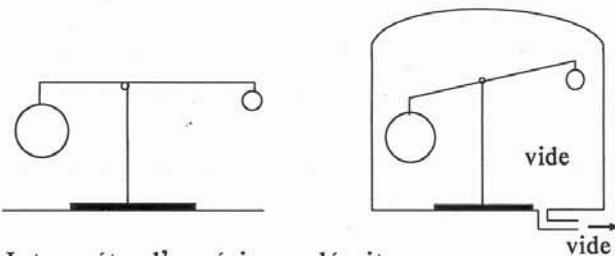
7 Détermination de masses volumiques



Déterminez à partir des résultats de l'expérience décrite. (On prendra $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$).

- la masse volumique du solide immergé.
- la masse volumique du liquide.

8 La poussée d'Archimède dans l'air



Interprétez l'expérience décrite.

9 Sur un aérostat

L'enveloppe d'un ballon météo est gonflée avec un volume de 950 m^3 l'hélium; les autres volumes seront négligés. On prendra $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.

- Calculez la masse d'hélium ($\rho = 0,17 \text{ g.L}^{-1}$)
- Quelle est la valeur de la poussée d'Archimède de l'air au niveau du sol ($\rho_0 = 1,25 \text{ g.L}^{-1}$).

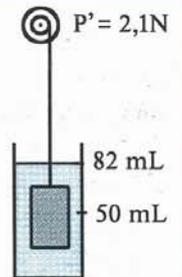
10 La flottaison de la glace

Un cube de glace (densité 0,9) de 10 cm d'arête flotte sur de l'eau pure.

- Calculez sa masse et déduisez le volume immergé.
- Quelle est la hauteur émergée ?

11 Exercice résolu

Un solide de poids 2,5 N été immergé dans une éprouvette graduée contenant 50 mL de glycérine. Le poids apparent est de 2,1 N et le niveau dans l'éprouvette 82 mL. Déterminer les masses volumiques du solide et du liquide.



Solution

1) Déterminer le volume de liquide déplacé (c'est aussi le volume du solide) : $V = 82 - 50 = 32 \text{ mL}$.

2) Calculer la masse du solide et en déduire sa masse volumique : $m_s = P / g = 2,5 : 10 = 250 \text{ g}$.
D'où : $\rho_s = m_s / V = 250 : 32 = 7,8 \text{ g.cm}^{-3}$.

3) Calculer la valeur de la poussée d'Archimède, égale à la différence entre le poids réel et le poids apparent : $F_a = P - P' = 2,5 - 2,1 = 0,4 \text{ N}$.

4) En déduire la masse de liquide déplacé et en déduire sa masse volumique :
 $m_l = F_a / g = 0,4 : 10 = 0,04 \text{ kg} = 40 \text{ g}$.
D'où : $\rho_l = m_l / V = 40 : 32 = 1,26 \text{ g.cm}^{-3}$.