

Information complémentaire

Tout corps plongé dans un fluide reçoit de la part de celui-ci une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du volume de fluide déplacé.

– Archimède de Syracuse

Le principe d'Archimède peut être exprimé par la formule suivante :

$$\text{Poids apparent} = \text{poids réel} - \text{poussée d'Archimède}$$

La poussée d'Archimède est une force verticale dirigée de bas en haut, créée par l'action d'un fluide sur un corps qui y est plongé, en tout ou en partie. La poussée d'Archimède est égale au poids du fluide déplacé par le corps.

Le poids réel est la force verticale qui s'exerce de haut en bas et qui peut être calculée en multipliant la masse du corps par l'accélération due à la gravité ($P = mg$).

Le poids apparent est égal au poids réel du corps moins la poussée d'Archimède ($P' = P - F_a$).

Trouver le message caché

Les forces s'exerçant sur l'éprouvette sont les suivantes :

Force de gravitation (F_g) : force s'exerçant de haut en bas, équivalant au poids d'un corps et mesurée en newtons. On la calcule en multipliant la masse (m) du corps par l'accélération due à la gravité ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) :

$$F_g = mg \quad (\text{équation 1})$$

$$F_g \text{ (N)} = \text{masse (kg)} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

Poussée d'Archimède (F_a) : force verticale dirigée de bas en haut, créée par l'action d'un fluide sur un corps qui y est plongé, en tout ou en partie. Elle est égale au poids du fluide déplacé (gaz ou liquide), et se mesure en newtons. On la calcule en multipliant la densité du fluide déplacé (ρ) par l'accélération due à la gravité (g) et par le volume du fluide déplacé (v) :

$$F_a = \rho gv \quad (\text{équation 2})$$

$$F_a \text{ (N)} = \text{densité (kg/L)} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times \text{volume (L)}$$

En sachant que la masse volumique est tout simplement égale à la masse divisée par le volume, on peut reformuler ainsi l'équation 2 :

$$F_a = (m/v) gv \quad (\text{équation 3})$$

$$F_a \text{ (N)} = (\text{masse (kg)} / \text{volume (L)}) \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times \text{volume (L)}$$

Et la simplifier ainsi :

$$F_a = mg \quad (\text{équation 4})$$

$$F_a \text{ (N)} = \text{masse (kg)} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

où m représente la masse du fluide déplacé.

La somme de la poussée d'Archimède (F_a) et de la force de gravitation (F_g) est la force nette (F_{NETTE}) :

$$F_{\text{NETTE}} = F_g + F_a \quad (\text{équation 5})$$

La force nette (F_{NETTE}) représente la force totale qui s'exerce sur l'éprouvette. Le sens de la force nette détermine celui de l'accélération. Si la poussée d'Archimède (F_a) et la force de gravitation (F_g) sont égales et opposées, la force nette (F_{NETTE}) est alors nulle, ce qui signifie que le corps est en équilibre et ne bouge pas.

La force de gravitation (F_g) attirant l'éprouvette vers le bas est la même dans toute cette expérience, car la masse demeure constante.

Lorsque l'éprouvette flotte à la surface de l'eau, la poussée d'Archimède (F_a) et la force de gravitation (F_g) sont égales et opposées, et la force nette (F_{NETTE}) est nulle. Lorsque le bouchon est vissé et que l'éprouvette appuie sur le bouchon, la poussée d'Archimède (F_a) est supérieure à la force de gravitation (F_g) et la force nette (F_{NETTE}) s'exerce vers le haut (**figure 1**). Pour ce qui est du principe d'Archimède, une force nette s'exerçant vers le haut correspond à un poids apparent négatif, ce qui signifie que l'éprouvette tend à monter.

Lorsqu'on appuie sur la bouteille, la pression qui s'exerce augmente. Étant donné que l'eau ne peut être comprimée, la pression se transmet dans l'eau sans changement et comprime l'air qui se trouve à l'intérieur de l'éprouvette. Le poids de l'eau déplacée diminue alors que l'eau passe dans le volume libéré par l'air comprimé, ce qui diminue la poussée d'Archimède. Cette diminution de la poussée d'Archimède fait en sorte que l'éprouvette descend. Pour ce qui est du principe d'Archimède, l'éprouvette descend lorsque le poids réel (force de gravitation) dépasse la poussée d'Archimède.

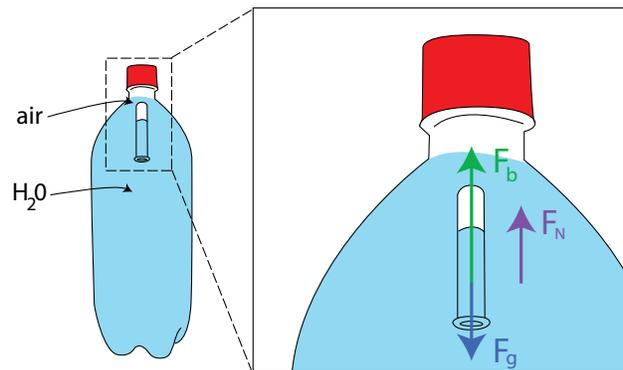


Figure 1

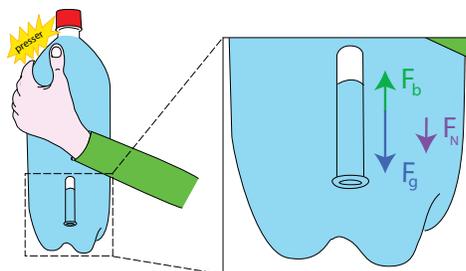


Figure 2

Lorsque la pression sur la bouteille disparaît, l'air à l'intérieur de l'éprouvette se dilate et la poussée d'Archimède augmente du fait que le volume d'eau déplacé est plus grand. Par conséquent, l'éprouvette monte et son poids apparent diminue.

Si la poussée d'Archimède (F_a) est inférieure à la force de gravitation (F_g), la force nette (F_{NETTE}) s'exerce vers le bas. Au contraire, si la poussée d'Archimède (F_a) est supérieure à la force de gravitation (F_g), la force nette (F_{NETTE}) s'exerce vers le haut. Lorsqu'on appuie sur la bouteille, la poussée d'Archimède (F_a) diminue pour être inférieure à la force de gravitation (F_g), ce qui fait en sorte que l'éprouvette descend (**figure 2**). L'éprouvette ne se déplace plus lorsque les deux forces s'annulent et que la force nette (F_{NETTE}) est égale à zéro.

Conservation de la masse

Les forces s'exerçant sur le système sont la force de gravitation (F_g) et la poussée d'Archimède (F_a).

La somme de la poussée d'Archimède (F_a) et de la force de gravitation (F_g) est la force nette (F_{NETTE}), qui représente la force totale s'exerçant sur la balance :

$$F_{NETTE} = F_g + F_a \quad (\text{équation 5})$$

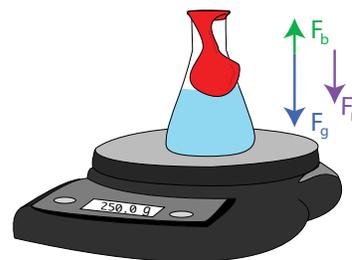


Figure 3

La force de gravitation (F_g) s'exerçant sur la bouteille d'eau et le ballon demeure constante pendant toute cette expérience, car la masse et la gravité demeurent constantes. Si la poussée d'Archimède (F_a) est supérieure à la force de gravitation (F_g), la force nette (F_{NETTE}) s'exerce vers le haut et la bouteille et le ballon se soulèvent au-dessus de la balance. Toutefois, si la poussée d'Archimède (F_a) est inférieure à la force de gravitation (F_g), la force nette (F_{NETTE}) s'exerce vers le bas (**figure 3**). En l'absence de poussée d'Archimède, la balance indique la masse des corps pesés.

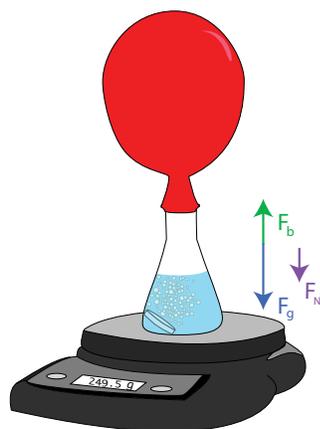


Figure 4

Si l'on met de l'antiacide dans l'eau de la bouteille, le ballon se gonfle, ce qui augmente le volume d'air ambiant déplacé et, du même coup, la poussée d'Archimède (F_a). La force nette (F_{NETTE}) s'obtient ici en multipliant la lecture que donne la balance par l'accélération due à la gravité (**figure 4**), et elle diminue par rapport à la force nette (F_{NETTE}) initiale. Pour ce qui est du principe d'Archimède, la masse avant que le ballon ne se gonfle est égale au poids réel ($P = mg$), et la masse après la réaction est égale au poids apparent ($P' = P - F_a$).

Dans le deuxième cas, la balance donne une lecture diminuée de la masse d'air déplacé par le ballon :

$$\text{masse après réaction} = \text{masse avant réaction} - \text{masse du fluide déplacé}$$

Par conséquent, on peut déterminer la masse du fluide déplacé à partir de la différence des masses, après et avant la réaction.

On se souvient que l'on peut déterminer la force nette en multipliant la masse par l'accélération due à la gravité. Lorsqu'on compare la F_{NETTE} initiale (avant ajout de l'antiacide) à la F_{NETTE} finale (après ajout de l'antiacide), on remarque une certaine différence entre l'ampleur (longueur) des vecteurs ($F_{\text{NETTE}} > F_{\text{NETTE}}'$). La direction verticale, du haut vers le bas de la force nette n'a pas changé. La baisse de la force nette ($F_{\text{NETTE}} > F_{\text{NETTE}}'$) indique qu'une force moindre s'exerce sur la balance, ce qui signifie que la bouteille et le ballon ne sont plus aussi lourds dans le deuxième cas (autrement dit, le poids apparent est inférieur au poids réel), même si la masse reste constante. La différence de force entre les deux situations, $F_{\text{NETTE}} - F_{\text{NETTE}}'$, est égale à la poussée d'Archimède.

Lorsqu'on met du sucre dans de l'eau, il n'y a pas de réaction ni de déplacement de l'air ambiant. Cela signifie que F_a est nulle et que F_g reste constante. Autrement dit, contrairement à ce qui se passe lorsqu'on ajoute de l'antiacide, la masse de la bouteille et du ballon ne change pas lorsqu'on met du sucre dans l'eau ($m = P/g$).

Boisson flottante

Canette de boisson gazeuse ordinaire dans l'eau :

Les boissons gazeuses ordinaires contiennent 35 g (~ 9 cuillères à thé) de sucre, ce qui fait qu'elles ont une masse volumique supérieure à celle de l'eau. Lorsqu'on plonge une canette de boisson gazeuse ordinaire dans un réservoir d'eau, la force de gravitation (F_g) est supérieure à la poussée d'Archimède (F_a) et la canette descend au fond du réservoir (figure 5).

Canette de boisson gazeuse diète dans l'eau :

Les boissons gazeuses diètes ne contiennent que 2 g (~ 1/2 cuillère à thé) d'aspartame et leur masse volumique est inférieure à celle de l'eau. Lorsqu'on plonge une canette de boisson gazeuse diète dans de l'eau, la poussée d'Archimède (F_a) qui s'exerce vers le haut est égale à la force de gravitation (F_g) qui s'exerce vers le bas, ce qui se traduit par une force nette égale à zéro. Les forces s'annulent et la canette est en équilibre, c'est-à-dire qu'elle flotte sans bouger à la surface de l'eau (**figure 5**), sans monter ni descendre. Lorsque F_a et F_g sont égales, le poids apparent du corps est égal à zéro ($P' = F_g - F_a$).

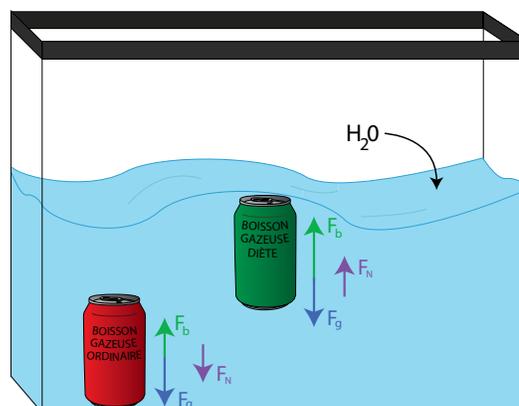


Figure 5

Canette de boisson gazeuse ordinaire dans l'eau salée :

Lorsqu'on met du sel dans l'eau, on augmente la masse volumique du fluide qui se trouve dans le réservoir. Lorsque la masse volumique de l'eau salée augmente, la poussée d'Archimède (F_a) augmente aussi, et la canette monte jusqu'à ce que la poussée d'Archimède et la force de gravitation (F_g) soient en équilibre. Lorsque la masse volumique de l'eau salée est égale à celle de la boisson gazeuse, la poussée d'Archimède et la force de gravitation s'annulent ($F_{NETTE} = 0$) et la canette reste en suspension dans l'eau salée, sans monter ni descendre. Autrement dit, la canette monte jusqu'à ce que le poids réel ($P = mg$) et la poussée d'Archimède s'annulent.

Si l'on ajoute encore plus de sel, de sorte que la masse volumique de l'eau salée dépasse celle de la boisson gazeuse, la canette monte à la surface de l'eau car F_a dépasse F_g . Lorsque la canette est à la surface, les forces sont de nouveau en équilibre ($F_{NETTE} = 0$) et la canette reste en suspension sans bouger (**figure 6**). Dans ce cas, l'augmentation de la masse volumique du fait de l'ajout de sel augmente la poussée d'Archimède et fait remonter la canette; toutefois, lorsque la canette monte, la quantité de fluide (eau salée) déplacée est moindre et la poussée d'Archimède diminue pour atteindre l'équilibre. Il faut savoir que si la quantité de sel ajoutée n'est pas suffisante et si la masse volumique du fluide est inférieure à celle de la boisson gazeuse, la canette descend.

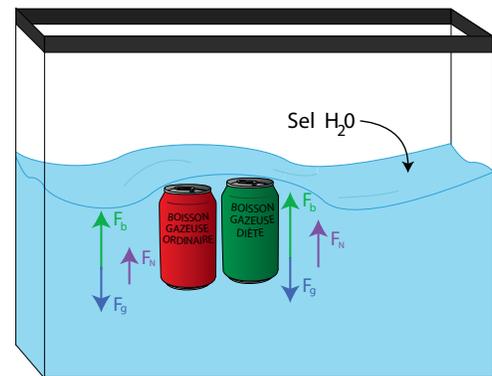


Figure 6

Canette de boisson gazeuse diète dans l'eau salée :

La masse volumique de la boisson gazeuse diète est inférieure à celle de l'eau. Si l'on met du sel dans l'eau du réservoir, la différence entre la densité de la boisson gazeuse et celle du fluide dans lequel elle est plongée s'accroît. Cette plus grande différence entre les masses volumiques fait que la canette de boisson diète remonte plus dans l'eau salée que dans de l'eau ordinaire.

Canettes de boisson gazeuse ordinaire et diète dans de l'alcool à friction :

Ici, les masses volumiques des deux types de boisson gazeuse sont supérieures à celle de l'alcool. Les deux canettes descendent, car la force de gravitation (F_g) est supérieure à la poussée d'Archimède (F_a) (**figure 7**), ce qui fait qu'une force nette s'exerce du haut vers le bas.

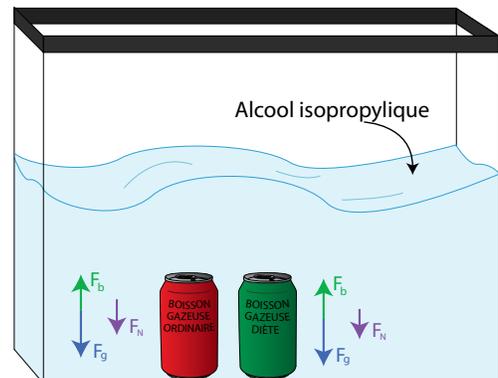


Figure 7