



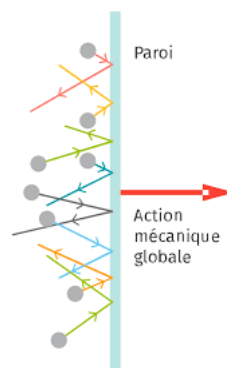
18.1 Quelques rappels

18.1.1 La pression

Les particules contenues dans un fluide (gaz ou liquide) exercent, à cause des collisions avec les parois du système, une action mécanique appliquée sur toute la surface de cette paroi, modélisée par une force appelée **force pressante**. La pression est définie comme la force pressante appliquée sur une surface d'un mètre carré de la paroi :

$$P = \frac{F}{S}$$

- F la force pressante en newton (N) ;
- S la surface en mètre carré (m^2) ;
- P la pression en pascal (Pa).



Σ ♥ Formule à connaître

La pression est le rapport de la force pressante sur la surface :

$$P = \frac{F}{S}$$

avec F la force pressante en newton (N), S la surface en m^2 et P la pression en pascal (Pa).

📎 Remarque

On comprend donc pourquoi si la température augmente, ce qui entraîne des chocs plus « violents » et plus fréquents sur les parois à cause de l'agitation moléculaire, la pression augmente également.

Σ ♥ Formule à connaître

Loi de Boyle-Mariotte (vue en 1^{re}) :

$$P V = K$$

La pression d'un fluide est inversement proportionnelle au volume que ce fluide occupe. En effet, si les molécules sont contenues dans un volume deux fois plus petit, la force pressante exercée sur les parois est deux fois plus grande.

18.1.2 La relation de l'hydrostatique

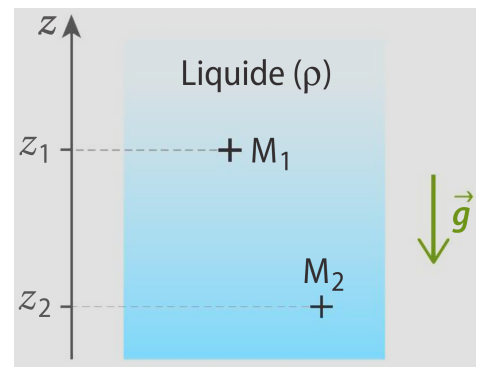


Formule à savoir utiliser

Dans un fluide incompressible au repos, la différence de pression entre deux points du fluide est égale à :

$$P_2 - P_1 = \rho g (z_1 - z_2)$$

- P la pression en pascal (Pa) ;
- ρ la masse volumique du fluide (liquide ou gaz) exprimée en kilogrammes par mètre cube ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) ;
- g l'intensité de la pesanteur locale ;
- z l'altitude ou la profondeur en mètre (m).



Remarque

l'axe Oz doit impérativement être orienté vers le haut. Cette relation sera fournie si vous en avez besoin en exercice.



Remarque

On retiendra que dans l'eau, la pression augmente de 1 bar tous les 10 m, où $1 \text{ bar} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$.

18.2 Poussée d'Archimède

Soit un système immergé dans un fluide, ici de l'eau pour cet exemple. Ce système est soumis sur l'ensemble de ses parois à une force pressante du fluide.

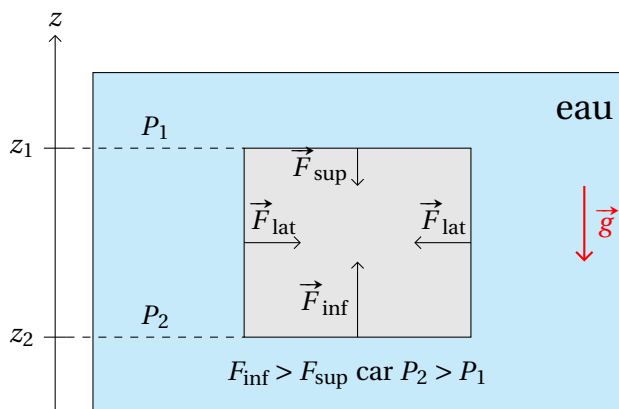


FIGURE 1 – Forces pressantes appliquées sur toutes les surfaces du corps immergé

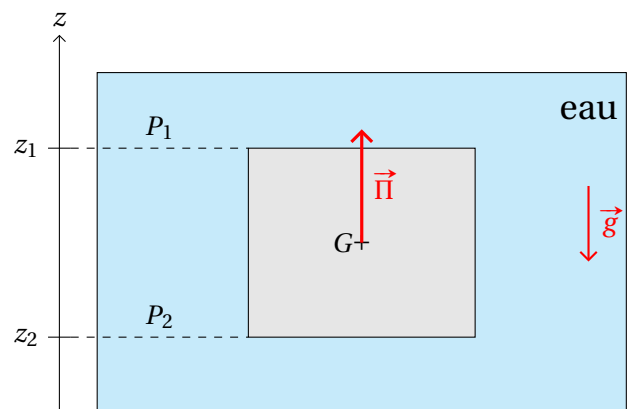


FIGURE 2 – La somme de ces forces donne une force verticale orientée vers le haut

La résultante des forces de pression est donc verticale, orientée vers le haut : c'est la **poussée d'Archimède**, notée $\vec{\Pi}$ ou $\vec{F}_A$.



Formule à savoir utiliser

La poussée d'Archimède est une action mécanique modélisée par une force qui s'applique au centre de gravité du corps immergé. Elle est verticale, orientée vers le haut, et sa norme est égale au **pooids du volume de fluide déplacé** :

$$\vec{\Pi} = -\rho_{\text{fluide}} V_{\text{fluide}} \vec{g}$$

18.3 Conservation du débit volumique

Σ♥ Formule à connaître

Le **débit volumique** correspond au volume V de fluide à travers une section par unité de temps, généralement la seconde. Il se calcule par la formule :

$$D_v = \frac{V}{\Delta t}$$

Il s'exprime en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ou encore $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ en fonction des données de l'énoncé. On rappelle que $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$.

✓ Exemple

On remplit une bouteille d'eau de 1,5 L en $\Delta t = 15 \text{ s}$ avec un robinet dont le rayon de l'embout est de 1,0 cm. Calculer le débit volumique et exprimer le résultat en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

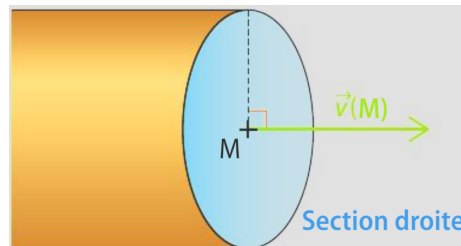
$$D_v = \frac{V}{\Delta t} = \frac{1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{15 \text{ s}} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Σ♥ Formule à connaître

Il est également possible de relier le débit volumique à la vitesse du fluide et à la surface de la section de la canalisation qui contient le fluide :

$$D_v = v \times S$$

- v la vitesse du fluide en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- S la surface de la section de la canalisation en m^2 .



📎 Remarque

Dans les deux cas, le débit volumique s'exprime en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$: les deux relations sont bien homogènes entre elles.

✓ Exemple

Vitesse de l'eau à la sortie du robinet de l'exemple précédent :

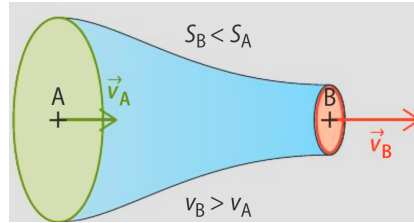
$$D_v = v \times S \Leftrightarrow v = \frac{D_v}{S} = \frac{D_v}{\pi R^2} = \frac{1,0 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{\pi \times (1,0 \times 10^{-2})^2 \text{ m}^2} = 0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

À retenir

Le débit volumique est une grandeur qui est conservée lors d'un écoulement. Il en résulte qu'en deux points différents d'une canalisation :

$$D_{v,A} = D_{v,B}$$

On voit donc que si la section diminue, la vitesse du fluide augmente.



Exemple

On bouche une partie de l'embout du robinet avec son pouce ! La section de l'embout du robinet est bloquée à 90 %. Calculer la vitesse du fluide qui sort du robinet. On utilise la conservation du débit volumique :

$$v_A S_A = v_B S_B \Leftrightarrow v_B = v_A \frac{S_A}{S_B} = 0,32 \times \frac{\pi \times (1,0 \times 10^{-2})^2}{\frac{10}{100} \times \pi \times (1,0 \times 10^{-2})^2} = 3,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

La vitesse est beaucoup plus grande ! Pensez au tuyau d'arrosage que vous pouvez pincer afin d'augmenter la vitesse de l'eau !

18.4 La relation de Bernoulli

Formule à savoir utiliser

La relation de Bernoulli traduit la conservation de l'énergie mécanique pour une particule fluide. Elle peut s'appliquer si les hypothèses suivantes sont respectées :

- l'écoulement est **permanent** : une fois le régime permanent établi ;
- le fluide est considéré comme **parfait** : la viscosité est considérée comme nulle et donc il n'y a **pas de frottements** entre deux particules fluides ;
- le fluide est **incompressible** : sa masse volumique ne varie pas en fonction de la pression ;
- la relation s'utilise entre deux points A et B qui sont sur une même **ligne de courant**.

$$P_A + \frac{1}{2} \rho v_A^2 + \rho g z_A = P_B + \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g z_B$$

Cette relation sera toujours fournie. Il faut simplement savoir l'utiliser.

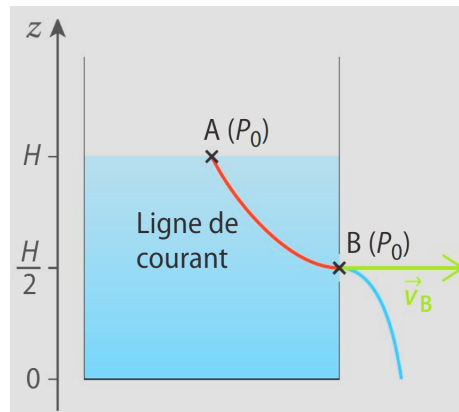


FIGURE 3 – Vase d'écoulement

✓ Exemple

Déterminer l'expression littérale de la vitesse du fluide au point B dans le vase de la figure ci-dessus.

- Les points A et B sont en contact avec l'atmosphère et leur pression est donc égale à la pression atmosphérique P_0 :

$$P_A = P_B = P_0$$

- La vitesse au point A est nulle : $v_A = 0$
- $z_A = H$ et $z_B = \frac{H}{2}$

En utilisant la relation de Bernoulli :

$$P_0 + \frac{1}{2} \rho \times 0^2 + \rho g H = P_0 + \frac{1}{2} \rho v_B^2 + \rho g \frac{H}{2}$$

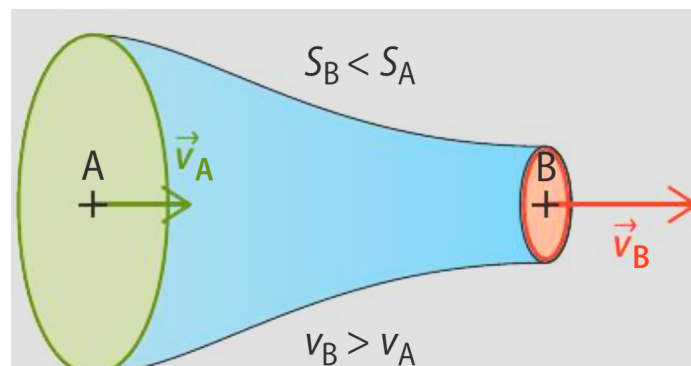
$$\Leftrightarrow g H = \frac{1}{2} v_B^2 + g \frac{H}{2}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{v_B = \sqrt{g H}}$$

La vitesse de l'eau au point B dépend donc uniquement de la hauteur. On peut faire l'analogie avec une chute libre où l'on trouve $v = \sqrt{2g(z_A - z_B)}$. Cette vitesse d'écoulement n'est donc pas constante et dépend de la hauteur H : plus le vase se vide, plus la vitesse d'éjection de l'eau est faible. Pour pallier cela et avoir une vitesse d'éjection constante, il est possible d'utiliser un vase de Mariotte.

18.5 L'effet Venturi

Reprenons l'exemple d'une canalisation dont la section se rétrécit. La section de la canalisation diminue au point B, donc $v_B > v_A$ comme vu précédemment.



En utilisant la relation de Bernoulli, il vient que :

$$P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho g z_A = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho g z_B$$

Or $z_A = z_B$, donc :

$$P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

$$\Leftrightarrow P_A - P_B = \frac{1}{2}\rho (v_B^2 - v_A^2)$$

Or $\frac{1}{2}\rho (v_B^2 - v_A^2) > 0$, donc $P_A - P_B > 0 \Leftrightarrow P_A > P_B$.

À retenir

Effet Venturi : lorsque la **vitesse du fluide augmente**, cela provoque une **diminution de la pression** à l'intérieur de la canalisation.

Quelques applications :

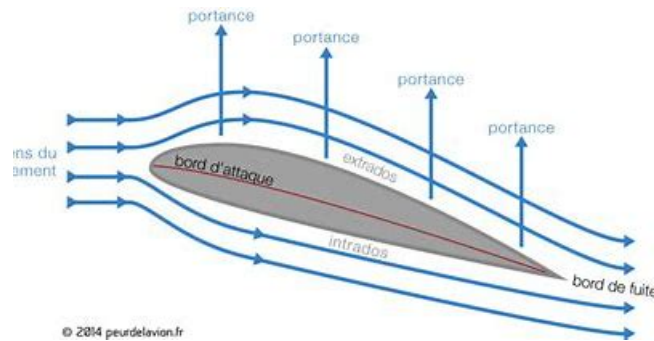


FIGURE 4 – Portance d'une aile

L'air qui s'écoule le long des ailes d'un avion possède une vitesse plus grande sur l'extrados (partie supérieure) que sur l'intrados (partie inférieure). Il en résulte que $P_{\text{extrados}} < P_{\text{intrados}}$ et donc la force pressante exercée sur l'aile est plus grande sur l'intrados que sur l'extrados. La résultante des forces pressantes est donc orientée vers le haut : c'est la **portance**.

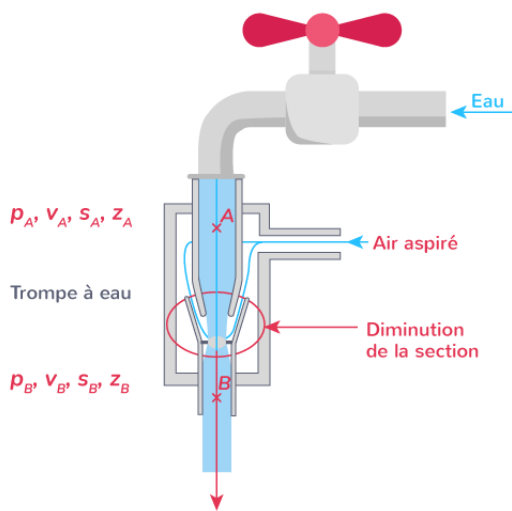


FIGURE 5 – Principe d'une trompe à eau

Le tuyau d'écoulement de l'eau est inséré dans une cavité remplie d'air reliée au système de filtration Büchner (la fiole à vide). La diminution de la section de la trompe à eau entraîne une diminution de la pression. Cela implique que l'air présent dans la fiole à vide va venir combler ce vide et donc cela crée un vide dans la fiole. La diminution de pression dépend de la différence de vitesse : c'est pour cela qu'il faut que le débit d'eau soit le plus grand possible!

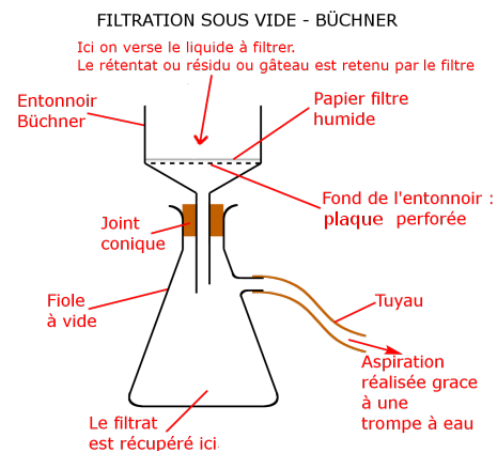


FIGURE 6 – Filtration Büchner

Maîtrise			
Compétence			
Expliquer qualitativement l'origine de la poussée d'Archimède.			
Utiliser l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède.			
<i>Compétence expérimentale : Mettre en œuvre un dispositif permettant de tester ou d'exploiter l'expression de la poussée d'Archimède.</i>			
Exploiter la conservation du débit volumique pour déterminer la vitesse d'un fluide incompressible.			
Exploiter la relation de Bernoulli, celle-ci étant fournie, pour étudier qualitativement puis quantitativement l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent.			
<i>Compétence expérimentale : Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'écoulement permanent d'un fluide et pour tester la relation de Bernoulli.</i>			