

CH P8 – Modéliser l'écoulement d'un fluide

Programme officiel :

Thème 2 : Mouvement et interactions

3. Modéliser l'écoulement d'un fluide

Notions et contenus	Capacités exigibles Activités expérimentales support de la formation
Poussée d'Archimède.	Expliquer qualitativement l'origine de la poussée d'Archimède. Utiliser l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède. <i>Mettre en œuvre un dispositif permettant de tester ou d'exploiter l'expression de la poussée d'Archimède.</i>
Écoulement d'un fluide en régime permanent.	Exploiter la conservation du débit volumique pour déterminer la vitesse d'un fluide incompressible.
Débit volumique d'un fluide incompressible. Relation de Bernoulli. Effet Venturi.	Exploiter la relation de Bernoulli, celle-ci étant fournie, pour étudier qualitativement puis quantitativement l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent. <i>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'écoulement permanent d'un fluide et pour tester la relation de Bernoulli.</i>

CH P8 – Modéliser l'écoulement d'un fluide

1. Poussée d'Archimède

1.1. Principe

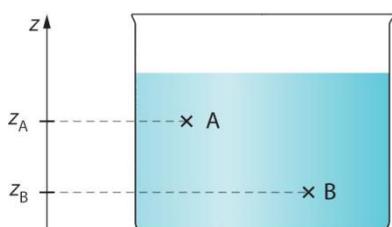
Jetez un simple caillou dans une rivière, il coule ; pourtant un bateau flotte. Lancez un simple ballon en l'air, il retombe ; pourtant une montgolfière s'élève. Ceci est possible aussi bien pour le bateau que pour la montgolfière grâce à la poussée d'Archimède qui n'est plus du tout négligeable devant le poids des objets. Voyons d'où vient cette force.

Nous avons vu en 1^{ère} spécialité qu'un fluide (un liquide ou un gaz) exerce une **force pressante** sur un objet dont la valeur est définie par :

$$F = P \times S$$

avec F : la force pressante en N ;
 P : pression en Pa ;
 S : surface de contact (m²).

Nous avons également vu la **loi fondamentale de la statique des fluides** qui montre que la pression augmente au fur et à mesure qu'on descend dans un fluide :

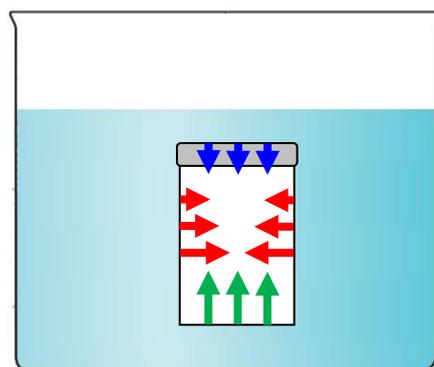


$$P_B - P_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$$

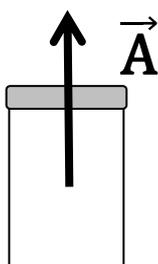
avec P_A et P_B : la pression en A et en B en Pa ;
 ρ : masse volumique du fluide en kg.m⁻³ ;
 g : intensité de pesanteur en N.kg⁻¹ ;
 z_A et z_B : altitude de A et B en m ;

Considérons maintenant une boîte immergée dans l'eau. L'eau exerce sur toutes les parois extérieures de la boîte des forces pressantes. Or, pour une même surface, la force dépend de la pression, et la pression dépend de l'altitude. C'est pourquoi les forces pressantes sont de plus en plus intenses au fur et à mesure que l'on descend dans l'eau.

Ainsi, les forces pressantes à une même altitude vont se compenser deux à deux (flèches rouges) par contre les forces pressantes du fond (flèches vertes) sont plus intenses que celles du dessus (flèches bleues).



On considère alors qu'il en résulte une force unique dirigée vers le haut que l'on nomme **poussée d'Archimède \vec{A}** .



1.2. Expression

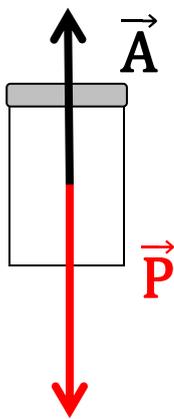
Archimède énonce que :

« Tout corps plongé dans un fluide éprouve une poussée verticale, dirigée de bas en haut, égale au poids du fluide qu'il déplace et appliquée au centre de gravité du fluide déplacé, ou centre de poussée. »

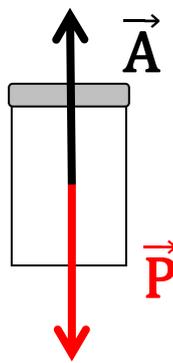
D'où l'expression vectorielle :

$$\vec{A} = - \vec{P}_{\text{fluide}} = - \rho \times V_{\text{fluide}} \times \vec{g}$$

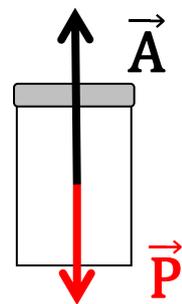
Suivant le poids de l'objet, on se retrouve alors dans 3 situations possibles :



$P > A$
la boîte coule



$P = A$
la boîte est en équilibre



$P < A$
la boîte remonte

2. Ecoulement d'un fluide

2.1. Le régime permanent

L'écoulement d'un fluide est très complexe et à ce jour n'est toujours pas complètement modélisé. En effet, suivant si le fluide est visqueux ou non, compressible ou pas, si l'écoulement est laminaire ou turbulent, ... les équations de résolution seront différentes.

Dans le cadre du programme, on considèrera un **régime permanent** (ou stationnaire) c'est-à-dire que les propriétés du fluide (vitesse, pression, ...) **ne dépendent pas du temps**.

Compléments :

Un fluide est visqueux s'il y a des forces de frottements, il s'écoule donc plus difficilement. *Par exemple l'eau a une viscosité de 1 mPa.s (milli Pascal seconde) alors que l'huile est à environ 100 mPa.s.*

Si un fluide est compressible alors sa densité peut changer.

Si l'écoulement est turbulent il apparaît des remous qui sont difficiles à modéliser, si l'écoulement est laminaire, il n'y a pas de turbulences.

2.2. Conservation du débit volumique

Le débit volumique correspond au volume de fluide qui s'écoule par unité de temps et est défini par :

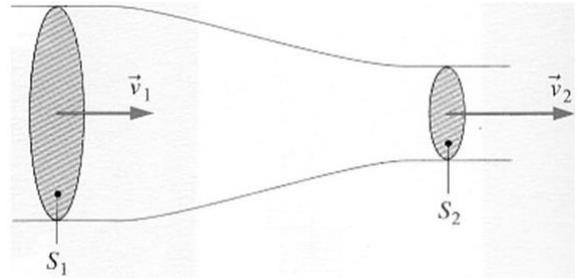
$$D_v = S \times v$$

Avec : D_v : débit volumique en $m^3.s^{-1}$;
 S : section de la conduite en m^2 ;
 v : vitesse du fluide en $m.s^{-1}$.

Si le fluide est incompressible, alors le débit est conservé :

$$D_v = S_1 \times v_1 = S_2 \times v_2$$

Ainsi, si la canalisation se rétrécit alors la vitesse augmente, le fluide accélère (et inversement).



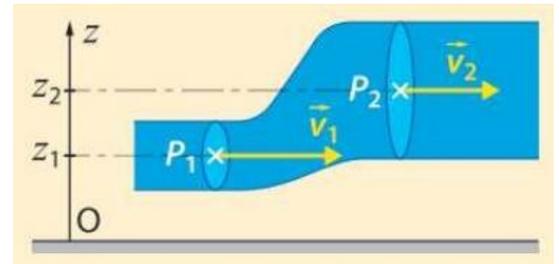
3. Relation de Bernoulli et effet Venturi

3.1. Relation de Bernoulli

En considérant un fluide incompressible en régime permanent, la relation de Bernoulli permet de prendre en compte tous les aspects (débit, pression et altitude) :

$$\frac{\rho \times v^2}{2} + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$

Avec : ρ : masse volumique du fluide en $kg.m^{-3}$;
 v : vitesse du fluide en $m.s^{-1}$;
 g : intensité de pesanteur en $m.s^{-2}$;
 z : altitude du fluide en m ;
 P : pression du fluide en Pa.



$$\frac{\rho \times v_1^2}{2} + \rho \times g \times z_1 + P_1 = \frac{\rho \times v_2^2}{2} + \rho \times g \times z_2 + P_2$$

3.2. Effet Venturi

L'effet Venturi dit qu'un fluide subit une dépression si la vitesse d'écoulement augmente. Ceci peut se déduire d'un cas particulier de la relation de Bernoulli. En effet, en considérant un fluide incompressible en régime permanent dans une **conduite horizontale** ($z_1 = z_2$), **comportant un étranglement** ($S_2 < S_1$), la conservation du débit dit que **la vitesse augmente** ($v_2 > v_1$) et la relation de Bernoulli dit **alors que la pression diminue** ($P_2 < P_1$).