Mouvement et interactions

Chapitre 16. **Écoulement d'un fluide** 1/3

ACQUIS INDISPENSABLES

1- La **masse volumique ρ** (en kg.m^{-3} ou g.L^{-1} etc.) d'un fluide est liée à l'état de dispersion de ses constituants microscopiques.

Exemples : Les particules sont davantage dispersées dans un gaz que dans un liquide d'où une masse volumique plus faible des gaz.

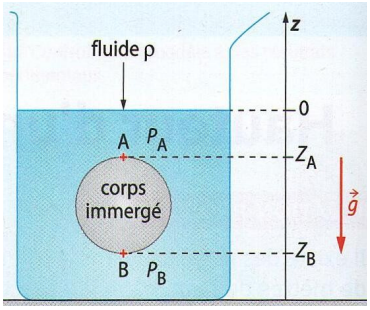
2- La **force pesante $\vec{F}$** (en N) représente l'action mécanique d'un fluide sur une **surface S** (en m²). Elle est liée à la **pression du fluide P** (en Pa).

$$F = P\,S$$

3- La **loi fondamentale de la statique des fluides** exprime la relation qui existe entre la **différence de pression ΔP** (en Pa), la **masse volumique ρ** (en kg.m^{-3}) du fluide, l'**intensité de pesanteur g** (en N.kg^{-1} ou m.s^{-2}) et la **différence d'altitude Δz** (en m) entre deux points A et B d'un fluide au repos.

$$P_B - P_A = \Delta P = \rho\, g\, \Delta z \quad \text{avec} \quad \Delta z = z_A - z_B$$

Exemple : la pression augmente avec la profondeur, ici en B la pression est plus grande qu'en A.

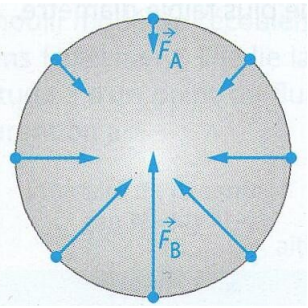


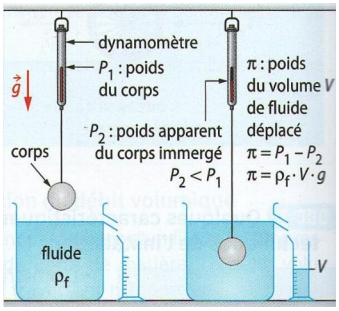
COURS

4- Tout corps immergé, en tout ou partie, dans un fluide, subit de la part du fluide des actions mécaniques modélisées par une **force verticale**, dirigée **vers le haut**, de **valeur égale au poids $\vec{P}_f$** (en N) **du volume V** (en m³) **de fluide déplacé**. L'expression de cette force est nommée **poussée d'Archimède $\vec{\pi}$** (en N) peut alors être reliée à la **masse de fluide déplacée m_f** (en kg), à la masse **volumique du fluide ρ_f** (en kg.m^{-3}) et au **champ de pesanteur $\vec{g}$** (en N.kg^{-1} ou m.s^{-2}).

$$\vec{\pi} = -\vec{P}_f = -\,m_f\,\vec{g} = -\,\rho_f\,V\,\vec{g}$$

Exemples : Si la pression en B est supérieure à celle en A alors les forces associées aussi, il en résulte que la somme des forces est non nulle, verticale et vers le haut ; une bille en acier de volume V = 5,0 cm³ totalement immergée dans l'eau subit une poussée $\vec{\pi}$ verticale dirigée vers le haut de valeur $\pi = \rho_f\, V\, g = 1{,}0.10^{3} \times 5{,}0.10^{-6} \times 9{,}8 = 4{,}9.10^{-2}$ N avec ρ_f la masse volumique de l'eau ; Les bateaux sont conçus de telle sorte que le poids du volume d'eau déplacé et donc la valeur de la poussée d'Archimède, est toujours égal au poids du bateau et de son contenu.





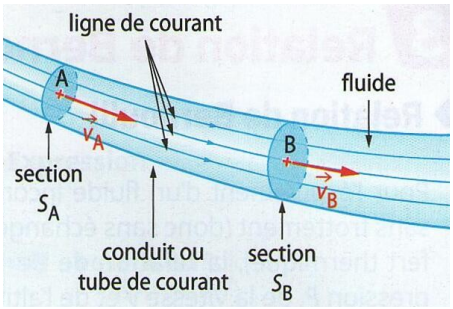
Mouvement et interactions

Chapitre 16. **Écoulement d'un fluide** 2/3

COURS

5- L'écoulement d'un fluide est modélisé par des **lignes de courant**. Ces lignes représentent les trajectoires des particules du fluide en mouvement. On dit qu'un fluide s'écoule en **régime permanent** (ou stationnaire) lorsque les lignes du courant n'évoluent pas au cours du temps.

Exemple : sur le schéma suivant, si $\vec{v_A}$ et $\vec{v_B}$ ne varient pas au cours du temps alors le régime est permanent ; $\vec{v_A}$ peut être différent de $\vec{v_B}$.



6- Le **débit volumique Q** (en $m^3.s^{-1}$) d'un fluide représente le **volume V** (en m^3) de fluide qui traverse un section S du conduit pendant une **durée Δt** (en s).

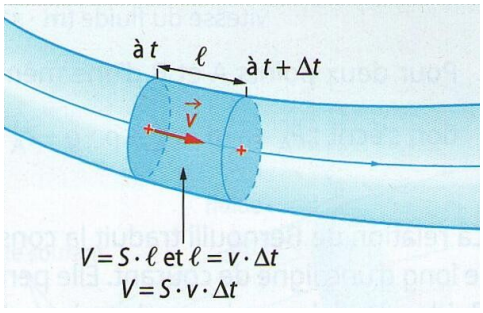
$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$

Exemple : chaque jour, la Loire rejette près de 80 millions de mètre cube d'eau dans l'océan ; son débit volumique $Q = \frac{8.10^7}{24 \times 3600} = 926\ m^3.s^{-1}$.

7- Le **débit volumique Q** (en $m^3.s^{-1}$) peut être calculé à partir de la **vitesse v** (en $m.s^{-1}$) du fluide s'écoulant à travers un section de **surface S** (en m^2).

$$Q = v\ S$$

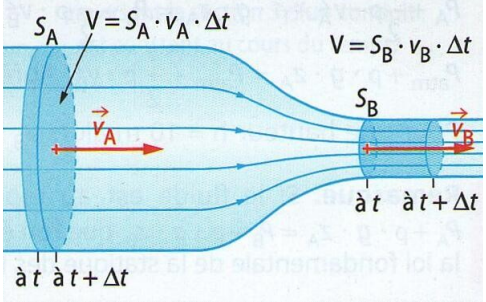
Exemple : relation entre le volume V et la vitesse v d'un fluide traversant une section S d'un conduit.



8- En régime permanent, il y a **conservation du débit volumique Q** d'un fluide incompressible le long d'un écoulement. Ainsi, en tous points A et B d'un écoulement, $\mathbf{Q_A = Q_B}$ soit $\mathbf{v_A\ S_A = v_B\ S_B}$ d'où $\frac{\mathbf{v_A}}{\mathbf{v_B}} = \frac{\mathbf{S_B}}{\mathbf{S_A}}$.

Si $S_A > S_B$ alors $v_A < v_B$, **la vitesse du fluide augmente lorsque la section du conduit rétrécie**.

Exemple : pendant une durée Δt, le même volume V de fluide traverse les sections S_a et S_B.



Mouvement et interactions

Chapitre 16. **Écoulement d'un fluide** 3/3

COURS

9- Pour l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent et sans frottement (donc sans échange d'énergie ni par travail ni par transfert thermique), la **relation de Bernoulli** modélise les évolutions de la **pression P** (en Pa), de la **vitesse v** (en $m.s^{-1}$) et de l'**altitude z** (en m) le long d'une ligne de courant dans un fluide de masse volumique ρ (en $kg.m^{-3}$) dans le **champ de pesanteur $\vec{g}$** (en $N.kg^{-1}$ ou $m.s^{-2}$).

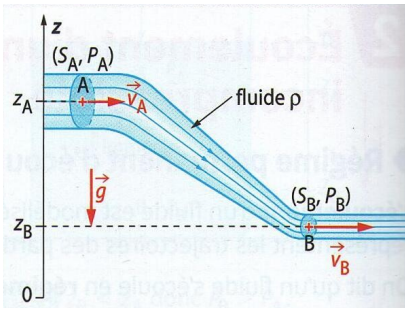
$$\mathbf{P + \frac{1}{2}\,\rho\, v^2 + \rho\, g\, z = constante}$$

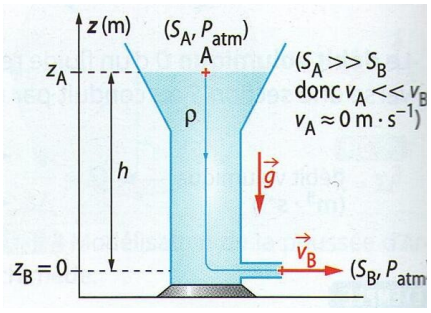
Ainsi, pour deux points A et B d'une même ligne de courant, $\mathbf{P_A + \frac{1}{2}\,\rho\, v_A^2 + \rho\, g\, z_A = P_B + \frac{1}{2}\,\rho\, v_B^2 + \rho\, g\, z_B}$.

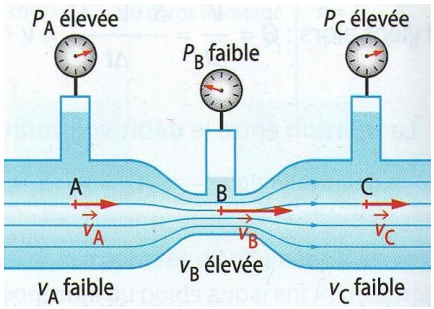
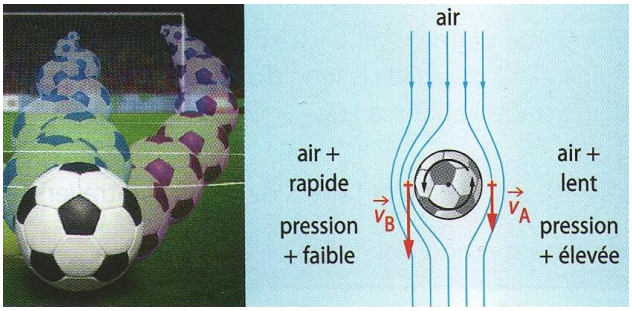
Si le fluide est au repos, on retrouve la loi de statique des fluide $P_A + \rho\, g\, z_A = P_B + \rho\, g\, z_B$ d'où $\Delta P = \rho\, g\, \Delta z$.

Exemples : en régime permanent, sur une même ligne de courant, les grandeurs suivent la relation de Bernoulli ; la vitesse de l'eau en sortie du robinet d'une installation domestique alimentée par un château d'eau peut être estimée à partir de la relation de Bernoulli ; $P_A + \frac{1}{2}\,\rho\, v_A^2 + \rho\, g\, z_A = P_B + \frac{1}{2}\,\rho\, v_B^2 + \rho\, g\, z_B$ s'écrit alors

$P_{atm} + \rho\, g\, z_A = P_{atm} + \frac{1}{2}\,\rho\, v_B^2$ car v_A est considérée nulle en eau du château d'eau, z_B est considéré comme le point bas donc égal à zéro et l'eau étant en contact avec l'atmosphère sa pression est équilibrée avec cette dernière ; ainsi, $v_B = \sqrt{2\,g\,h}$ où h est la hauteur du château d'eau donc ici $z_A = h$; si h = 10 m alors $v_B = \sqrt{2\times 9{,}8\times 10} = 14$ $m.s^{-1}$.





10- Pour un écoulement en régime permanent, la **pression P d'un fluide diminue lorsque sa vitesse augmente** (et inversement), on parle d'**effet Venturi**. En effet, pour un écoulement horizontal $z_A = z_B$ d'où $P_A + \frac{1}{2}\,\rho\, v_A^2 = P_B + \frac{1}{2}\,\rho\, v_B^2$ et ainsi, $P_A - P_B = \frac{1}{2}\,\rho\,(v_B^2 - v_A^2)$.

Exemple : illustration de l'effet Venturi ; dans de nombreux sports, l'effet Magnus est à l'origine de trajectoires surprenantes par rapport à ce qu'on s'attendrait classiquement ; en effet, en imposant un mouvement de rotation (appelé parfois effet) à une balle, la vitesse de l'air va augmenter d'un côté de la balle et diminuer de l'autre ; il en résulte une différence de pression de l'air entre les deux côtés de la balle ce qui implique une action mécanique différenciée de l'air sur la balle modifiant ainsi son mouvement.