

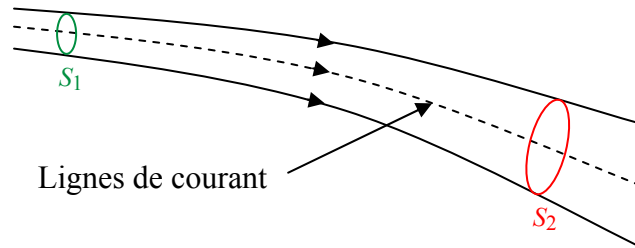


DYNAMIQUE DES FLUIDES

I) Écoulement des fluides

1) Lignes de courant

Les molécules d'un fluide en mouvement suivent des trajectoires appelées lignes de courant. Ces lignes de courant sont représentées dans un tube de courant. Un tube de courant est une canalisation imaginaire qui montre l'écoulement du fluide à partir des sections d'entrée S_1 et de sortie S_2 .



2) Écoulement permanent

Un écoulement est dit permanent lorsque les lignes de courant ne varient pas au cours du temps. En chaque point de l'écoulement, la vitesse des particules du fluide reste constante au cours du temps en un même point. Lorsque la vitesse est la même en tout point, l'écoulement est dit uniforme.

Un écoulement est dit parfait lorsque toutes les molécules traversant une même section ont la même vitesse.

II) Débit massique et volumique

1) Débit massique

Le débit massique Q_m est le rapport de la masse m de liquide s'écoulant pendant le temps t :

$$Q_m = \frac{m}{t}$$

$$m \text{ en kg} \quad ; \quad t \text{ en s} \quad ; \quad Q_m \text{ en kg/s}$$

Il représente la masse de liquide écoulé pendant une unité de temps.

2) Débit volumique

Le débit volumique Q_v est le rapport du volume V de liquide s'écoulant pendant le temps t :

$$Q_v = \frac{V}{t}$$

$$V \text{ en m}^3 \quad ; \quad t \text{ en s} \quad ; \quad Q_v \text{ en m}^3/\text{s}$$

Q_v représente le volume de liquide écoulé pendant une unité de temps.

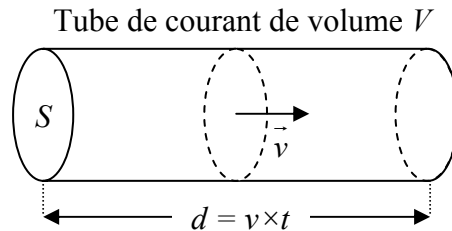
On constate qu'il existe une relation entre Q_m et Q_v : $Q_m = \rho \times Q_v$.
Dorénavant Q_v sera noté Q .



3) Expression du débit volumique dans le cas d'un régime permanent

En régime permanent, la vitesse d'écoulement est constante ; or $V = S \times d$, d'où :

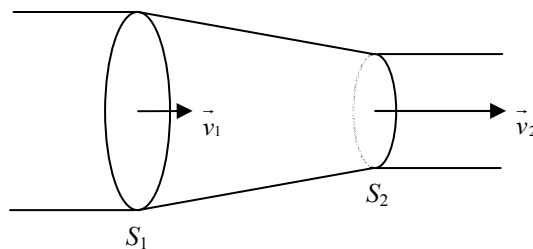
$$Q = \frac{V}{t} = \frac{S \times d}{t} = S \times \frac{d}{t} = S \times v$$



Le débit volumique d'un liquide lors d'un écoulement permanent à travers une section S est donné par la relation : $Q = v \times S$

$$Q \text{ en m}^3/\text{s} \quad ; \quad v \text{ en m/s} \quad ; \quad S \text{ en m}^2$$

III) Équation de continuité



Dans un fluide parfait en écoulement permanent, le débit Q_1 à l'entrée du tube de section S_1 est égal au débit Q_2 à la sortie du tube de section S_2 . $Q_1 = Q_2$ d'où

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

Dans un écoulement, vitesse et section sont des grandeurs inversement proportionnelles.

IV) Écoulement des fluides parfaits

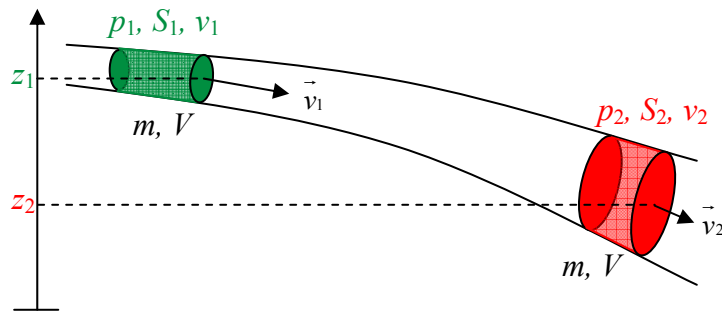
Un fluide est considéré parfait s'il est incompressible et si les forces de frottement sont négligées.



1) Équation de Bernoulli

Cette équation permet de définir les caractéristiques de pression, de hauteur et de vitesse d'un fluide qui se déplace. Elle s'applique à tout fluide incompressible, non visqueux et peut être utilisée dans les écoulements gazeux à condition que les vitesses d'écoulement soient faibles : de l'ordre de 100 m/s.

En régime d'écoulement permanent, il y a conservation de l'énergie mécanique par unité de volume du fluide.



L'état d'un écoulement est donné par :
- la vitesse
- la hauteur
- la pression

L'équation de Bernoulli traduit la variation de ces trois grandeurs :

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 + \rho g z_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2 + \rho g z_2$$

ρ : masse volumique du fluide (en kg/m³)

v_1 et v_2 : vitesses d'écoulement du fluide dans les sections S_1 et S_2 (en m/s)

p_1 et p_2 : pressions statiques (en Pa)

z_1 et z_2 : altitudes des sections S_1 et S_2 (en m)

Cette équation peut s'écrire aussi sous cette forme :

$$\underbrace{\frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)}_{\text{variation de la pression dynamique}} + \underbrace{p_2 - p_1}_{\text{variation de la pression statique}} + \underbrace{\rho g (z_2 - z_1)}_{\text{variation de la pression due à la variation de niveau}} = 0$$

2) Cas particuliers

a) Écoulement horizontal

Si l'écoulement est horizontal alors $z_1 = z_2$ d'où :

$$\frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2$$



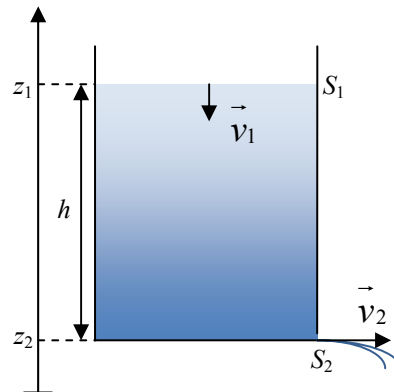
b) Fluide immobile

Si le fluide est immobile alors $v_1 = v_2$ d'où :

$$p_1 + \rho g z_1 = p_2 + \rho g z_2$$

On retrouve le principe de l'hydrostatique.

c) Liquide dans un récipient ouvert à une extrémité



$p_1 = p_2 = p$ atmosphérique.

Si S_1 est très grand par rapport à S_2 (extrémité effilée), la vitesse de sortie v_2 du jet est très grande devant la vitesse de descente v_1 du liquide dans le récipient.

Par conséquent $v_1^2 \ll v_2^2$ et donc $v_2^2 - v_1^2 \approx v_2^2$.

L'équation de Bernoulli dans cette situation se simplifie :

$$\underbrace{\frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2)}_{=\frac{1}{2} \rho v_2^2} + \underbrace{p_2 - p_1}_0 + \rho g (z_2 - z_1) = 0$$

car $p_1 = p_2$

et donne : $\frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g (z_2 - z_1) = 0$ soit $\frac{1}{2} \rho v_2^2 = \rho g (z_1 - z_2)$.

Ce qui conduit après simplification par ρ et multiplication par 2 à $v_2^2 = 2gh$.

Théorème de Torricelli :

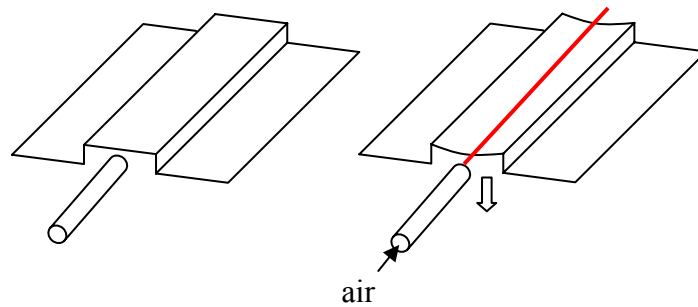
La vitesse de sortie du liquide est identique à celle résultant d'une chute libre de même hauteur.

$$v = \sqrt{2gh}$$



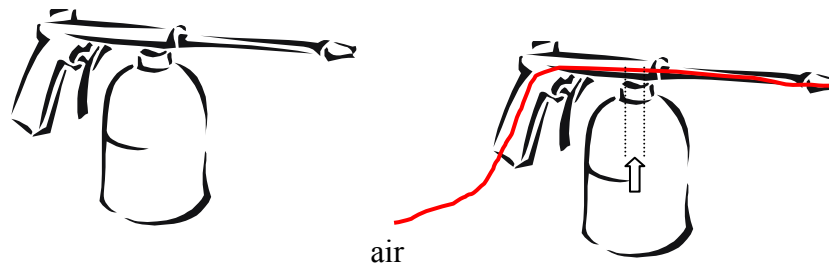
3) Principe de Venturi

a) La feuille de papier pliée



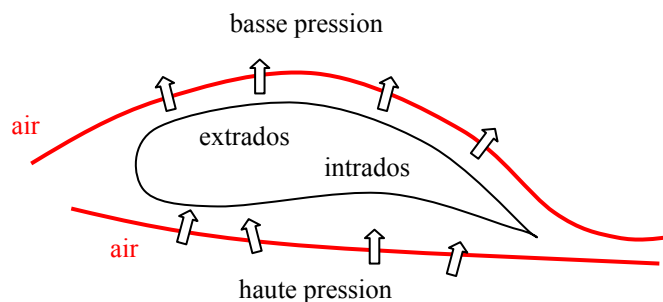
Quand on souffle dans un tube sous une feuille de papier, l'augmentation de la vitesse de l'air crée une dépression qui applatit la feuille.

b) Le pistolet à peinture



Dans un pistolet à peinture, la forte augmentation de la vitesse de l'air dans le tube crée une dépression qui permet l'aspiration de la peinture et sa projection.

c) L'aile d'avion



L'aile d'avion comporte un intrados et un extrados. Sur ce dernier, le trajet plus long oblige les filets d'air à aller plus vite et à donner naissance à une dépression locale qui aspire l'air. Sur l'intrados, l'air est freiné, la pression augmente et repousse l'aile vers le haut. La dépression sur l'extrados est supérieure à la surpression sur l'intrados. La différence de pression crée la portance.

Phénomène de Venturi :

Dans un fluide, la pression est plus faible là où la section est la plus petite, c'est-à-dire là où la vitesse est la plus grande.



V) Écoulement des fluides réels

1) Forces et coefficients de viscosité

a) Force de viscosité

Les fluides parfaits, c'est-à-dire les fluides qui s'écoulent librement, n'existent pas.

Les fluides réels sont des fluides visqueux. La viscosité est la résistance qu'oppose un fluide à tout glissement de ses molécules les unes sur les autres. La viscosité d'un fluide traduit son aptitude à s'écouler :

- Si le fluide s'écoule facilement sa viscosité est faible
- Si le fluide s'écoule difficilement sa viscosité est forte.

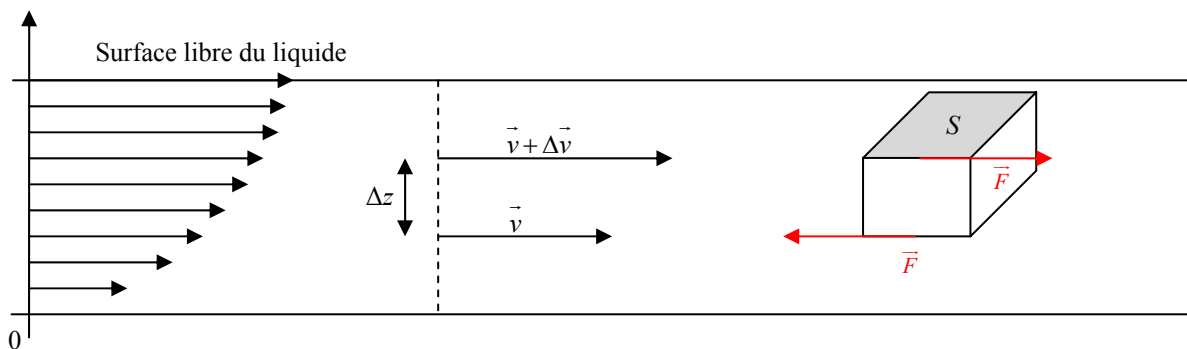
Pour les liquides, la viscosité diminue quand la température augmente ; c'est le contraire pour les gaz.

Pour les liquides, la viscosité augmente quand la pression augmente.

b) Viscosité dynamique

La vitesse du liquide est différente dans les plans horizontaux distincts.

La couche de liquide plus rapide tend à entraîner le liquide plus lent situé en dessous d'elle. Au contraire, la couche la plus lente tend à freiner la couche la plus rapide.



L'action du fluide se traduit par des forces tangentielles appliquées à chaque couche.

Soient deux surfaces d'aire S prises dans deux couches superposées d'écartement Δz et soit Δv la vitesse relative de la surface supérieure par rapport à la surface inférieure. On démontre que l'intensité des forces tangentielles exercées entre les deux couches est proportionnelle :

$$F = \mu S \frac{\Delta v}{\Delta z}$$

μ est le coefficient de viscosité dynamique du fluide (en Pa.s ou en poiseilles : 1 Pa.s = 1 PI)

c) Viscosité cinématique

Le coefficient de viscosité cinématique ν est le rapport du coefficient de viscosité dynamique μ à la masse volumique ρ du fluide.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

ν s'exprime en stokes (St). 1 St = 10^{-4} m²/s



d) Viscosité conventionnelle

Les coefficients de viscosité conventionnelle ou empirique sont issus de procédés de mesure et non de définitions scientifiques.

Europe, France	Viscosité Engler, SAE
Royaume-Uni	Viscosité Redwood
États-Unis	Viscosité Saybolt

Elles sont principalement utilisées pour mesurer les viscosités des huiles.

2) Nombre de Reynolds

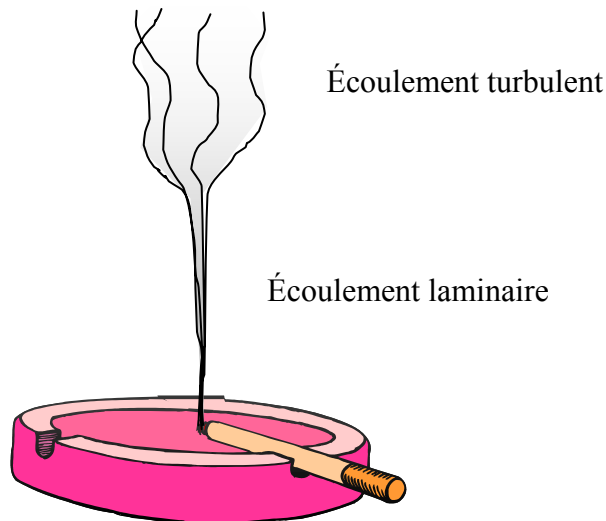
a) Les différents types d'écoulement

Écoulement laminaires

Pour un faible débit, les lignes de courant glissent sans déformation les unes par rapport aux autres. Elles restent pratiquement parallèles. C'est un écoulement ordonné.

Écoulement turbulent

Pour un débit important, les lignes de courant ne sont plus parallèles. Les molécules décrivent des trajectoires quelconques. La vitesse d'écoulement est plus grande, l'écoulement est désordonné. Les filets du fluide tendent à se séparer avec une ampleur plus ou moins grande.



Écoulement transitoire

Écoulement critique se situant entre les deux écoulements précédents.

b) Nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds permet de déterminer le régime d'écoulement en fonction de la vitesse du fluide, de sa viscosité et du diamètre de la conduite.

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

ν : viscosité cinématique en m^2/s

v : vitesse d'écoulement en m/s

D : diamètre de la conduite en m .



Re est un nombre sans dimension.

Si $Re < 1600$: l'écoulement est laminaire.
Si $1600 < Re < 2300$: l'écoulement est transitoire.
Si $Re > 2300$: l'écoulement est turbulent.

3) Pertes de charge dans une conduite

Lorsqu'un fluide s'écoule dans une canalisation, la longueur de cette canalisation et les incidents de parcours introduisent des pertes de pression Δp appelées pertes de charge.

L'équation de Bernoulli s'écrit alors :

$$\frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + p_2 - p_1 + \rho g (z_2 - z_1) = \Delta p$$

Les pertes de charges linéiques Δp sont dues à la nature du fluide, à la longueur des tuyauteries et au type d'écoulement :

$$\Delta p = K \times \frac{L}{D} \times \rho \times \frac{v^2}{2}$$

ρ : masse volumique du fluide (en kg/m^3)

v : vitesse d'écoulement du fluide en m/s

D : diamètre de la conduite en m .

L : longueur de la conduite en m .

K : coefficient de perte de charge

Pour un écoulement laminaire : $K = \frac{64}{Re}$

Pour un écoulement turbulent : $K = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$