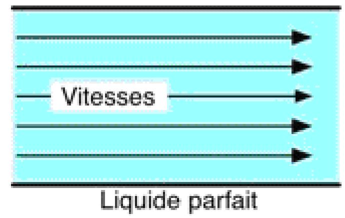
Chapitre 5.4 – L'écoulement des fluides sans viscosité

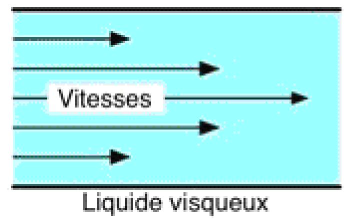
Fluide parfait et visqueux

Les fluides qui circulent dans les tuyaux ne sont pas parfaits. Cela signifie que le **module** de la **vitesse** des différents volumes du fluide n'est **pas toujours uniforme**.



Fluide parfait :

Fluide ayant **aucune interaction** avec les **parois** du guide d'écoulement (le tuyau). Les volumes du fluide se déplacent tous à la même vitesse. Il n'y a **pas** de **résistance** à l'écoulement du fluide.

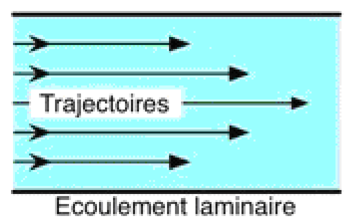


Fluide visqueux :

Fluide ayant une **interaction** avec les **parois** du guide d'écoulement (le tuyau). La vitesse des volumes du fluide près du guide est inférieure à la vitesse des volumes du fluide au centre du guide. La **viscosité** représente une **résistance** à l'écoulement du fluide.

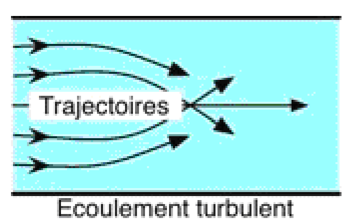
Régime d'écoulement

Les fluides ne s'écoulent pas toujours avec un régime stable (écoulement régulier). Cela signifie que la **trajectoire** des volumes du fluide n'est **pas toujours rectiligne**.



Écoulement laminaire :

Fluide se déplaçant **uniquement** dans le **sens** du **guide d'écoulement** (même sens que le tuyau). Il y a glissement entre les différentes couches de volume du fluide sans croisement. Ce mode d'écoulement se fait habituellement à **débit faible**.



Écoulement turbulent :

Fluide se déplaçant dans le **sens** du **guide d'écoulement**, **mais** avec des **trajectoires** non rectiligne. Il y aura croisement de trajectoire pour l'ensemble des couches de volume de fluide en mouvement ce qui occasionne des interactions entre les volumes de fluide et des **collisions** sur les **parois** du guide d'écoulement. Ces collisions peuvent occasionner du **bruit**. Ce type d'écoulement est très dur à analyser.

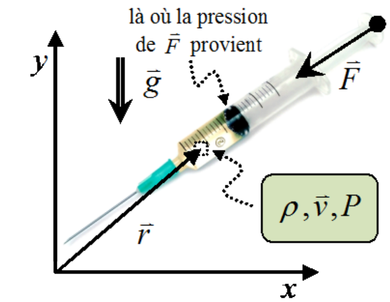
La mécanique des fluides

Contrairement à la mécanique classique ou l'objectif est de décrire le mouvement d'une particule se déplaçant dans l'espace, la mécanique des fluides tend à décrire l'évolution dans le temps en un endroit de l'espace les propriétés physiques des fluides qui voyageront dans l'espace en question.

Cette théorie permet d'appliquer des forces aux fluides afin d'y définir la pression et la cinématique des fluides circulant dans l'espace en étude permet d'y décrire des **mouvements ondulatoires** et **turbulents**.

http://www.laterredufutur.com/accueil/formation-et-explication-dune-tornade-a-multi-vortex/tornade-4/
La mécanique des fluides permet de comprendre la formation d'une tornade.

Propriété de l'espace	Propriété physique du fluide
• Coordonnée dans le fluide $\vec{r}(x, y, z)$ • Temps t	• Masse volumique (densité) ρ • Vitesse du fluide $\vec{v}$ • Pression du fluide P



http://jadaperlas.com/fr/france-un-eleve-pique-ses-camarades-avec-une-seringue-trouvee-dans-un-bus/

La densité d'énergie cinétique d'un fluide

La densité d'énergie cinétique $\tilde{K}$ d'un fluide correspond à l'énergie cinétique transportée par une densité de masse ρ de fluide en mouvement à vitesse v occupant un volume dV et ayant une masse totale dm :

$$\tilde{K} = \frac{1}{2}\rho v^2$$

où $\tilde{K}$: Densité d'énergie cinétique du fluide (J/m^3)

ρ : Masse volumique du fluide (kg/m^3) ($\rho = m/V$)

v : Vitesse du fluide (m/s)

<u>Preuve :</u>

À partir de la définition de l'énergie cinétique, appliquons ce concept à une densité masse ρ :

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{1}{V}\right)K = \left(\frac{1}{V}\right)\frac{1}{2}mv^2$$ (Diviser par le volume V occupé par m)

$$\Rightarrow \quad \tilde{K} = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad \blacksquare$$ (Remplacer $\tilde{K} = \frac{K}{V}$ et $\rho = \frac{m}{V}$)

Effet Venturi

Lorsqu'un fluide parfait incompressible s'écoule le long d'une canalisation, la densité énergétique totale du fluide est constante. Puisque celui-ci doit circuler à plus haute vitesse lorsque la canalisation rétrécie ($D = Av$) afin de maintenir le débit constant ($D = \text{constant}$), le fluide doit nécessairement augmenter sa densité d'énergie cinétique.

https://en.wikipedia.org/wiki/Giovanni_Battista_Venturi
Giovanni Battista Venturi
(1746-1822)

Ainsi, la pression P du fluide correspond alors à une densité d'énergie potentielle qui peut être transformée temporairement en densité d'énergie cinétique pour maintenir le débit constant.

Cette découverte est historiquement associée au physicien italien Giovanni Battista Venturi.

Une bouteille vaporisateur exploite l'effet Venturi

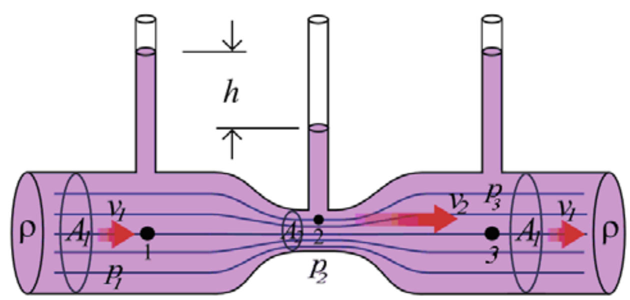
Voici l'équation qui en découle :

$$\tilde{E} = P + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constante}$$

où $\tilde{E}$: Densité d'énergie (J/m^3)
P : Pression exercée sur le fluide (Pa)
ρ : Masse volumique du fluide (kg/m^3) ($\rho = m/V$)
v : Vitesse du fluide (m/s)

Fluide parfait :

- $D_1 = D_2$
- $A_1 > A_2$
- $v_1 < v_2$
- $P_1 > P_2$
- $P_2 = P_1 - \rho g h$
- $P_1 = P_3$



https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_Venturi

<u>Preuve :</u>

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique à un fluide incompressible sous l'action d'un travail conservatif associée à une pression externe :

$W = \Delta K \quad \Rightarrow \quad W_P = \Delta K$ (Travail de la pression : $W = W_P$)

$\Rightarrow \quad -\Delta U_P = \Delta K$ (Travail conservatif : $W = -\Delta U$)

$\Rightarrow \quad \dfrac{-\Delta U_P}{V} = \dfrac{\Delta K}{V}$ (Diviser par le volume V)

$\Rightarrow \quad -\Delta \dfrac{U_P}{V} = \Delta \dfrac{K}{V}$ (Distribuer $1/V$)

$\Rightarrow \quad -\Delta P = \Delta \tilde{K}$ ($P = \dfrac{U_P}{V}$ et $\tilde{K} = \dfrac{K}{V}$)

$\Rightarrow \quad -(P_2 - P_1) = \tilde{K}_2 - \tilde{K}_1$ ($\Delta X = X_2 - X_1$)

$\Rightarrow \quad P_1 + \tilde{K}_1 = P_2 + \tilde{K}_2$ (Regrouper 1 et 2)

$\Rightarrow \quad P + \dfrac{1}{2}\rho v^2 = \text{constante}$ ■ (Remplacer $\tilde{K} = \dfrac{1}{2}\rho v^2$)

La densité énergétique gravitationnelle d'un fluide

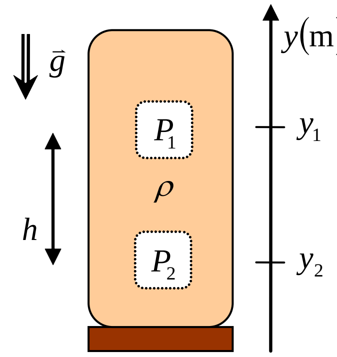
La densité énergétique $\tilde{E}$ d'un fluide parfait incompressible est constante pour l'ensemble du fluide même s'il y a des variations de hauteurs dans le fluide. Ceci s'explique par le fait que la diminution de la densité énergétique gravitationnelle du fluide se fait au rythme de l'augmentation de la pression causée par la gravité elle-même :

$$\tilde{E} = P + \rho g y = \text{constante}$$

où $\tilde{E}$: Densité d'énergie (J/m^3)
P : Pression exercée sur du fluide (Pa)
ρ : Masse volumique du fluide (kg/m^3)
g : Accélération gravitationnelle (m/s^2)
y : Position verticale du fluide (m)

Preuve :

Considérons une colonne d'un fluide incompressible de masse volumique ρ. Évaluons la densité énergétique du fluide pour différente hauteur et vérifions qu'elle est constante à partir de la variation de la pression causée par la gravité :



$$\Delta P_g = \pm \rho g h \quad \Rightarrow \quad P_2 = P_1 + \rho g h$$

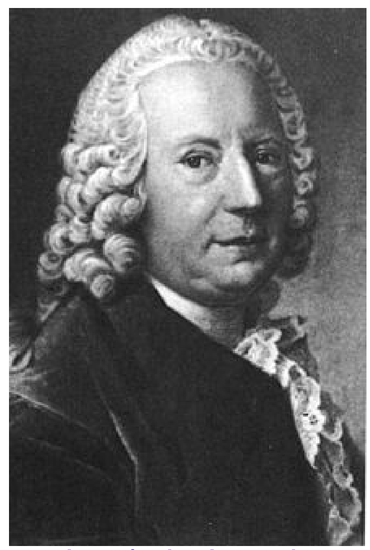
$$\Rightarrow \quad P_2 = P_1 + \rho g \left(y_1 - y_2\right)$$

$$\Rightarrow \quad P_2 + \rho g y_2 = P_1 + \rho g y_1$$

$$\Rightarrow \quad P + \rho g y = \text{constante} \quad \blacksquare$$

Équation de Bernoulli

En 1738, le médecin-physicien-mathématicien Daniel Bernoulli établie un lien entre un changement de pression d'un fluide et son accélération. Dans une canalisation, un fluide incompressible parfait en écoulement non turbulent et laminaire respecte un principe de conservation d'énergie par unité de volume permettant d'établir la relation constante suivante :



https://fr.wikipedia.org/wiki/Daniel_Bernoulli
Daniel Bernoulli
(1700-1782)

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

où P : Pression du fluide incompressible (Pa)

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

v : Vitesse de l'écoulement du fluide (m/s)

g : Accélération gravitationnelle (m/s^2)

y : Hauteur du fluide (m)

Preuve : (par assemblage de preuve)

Lors d'un écoulement d'un fluide incompressible parfait, il y a les relations suivantes qui ont été démontrées :

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constante} \quad \text{et} \quad P + \rho g y = \text{constante}$$

Si l'on regroupe ces deux processus de variation de pression qui sont des mécanismes conservatifs, nous pouvons conclure que :

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho\, g\, y = \text{constante} \qquad \blacksquare$$