Mécanique des fluides

Actions sur une particule de fluide - types d'écoulements

E. Ouvrard - PC Dupuy de Lôme - Lorient

PC CPGE Lycée Dupuy de Lôme - LORIENT

19 mars 2021

Pression

Les forces de pression décrivent la composante normale des actions d'un fluide sur une surface élémentaire dS :

$$p = \frac{\overrightarrow{dF}}{\overrightarrow{dS}}, \texttt{ exprimée en Pascal}(Pa)$$

On se place à l'échelle mésoscopique.

Unités : $1\ Pa = 1\ N.m^{-2} = \frac{1}{1,01.10^5}\ atm = \frac{760}{10^5}\ mm\ Hg$

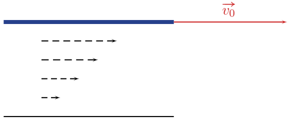
Densité volumique des forces de pression

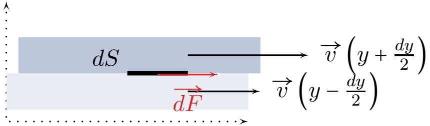
On définit $\overrightarrow{dF_p}$ la résultante des forces de pression s'exerçant à la surface d'une particule de fluide de volume $d\tau$.

$$\overrightarrow{f_{v,p}(P)} = \frac{\overrightarrow{dF_p}}{d\tau} = -\overrightarrow{grad}\,(p(P))$$

Étude expérimentale (source : http ://youtu.be/X4zd4Qpsbs8)

Hypothèse d'étude : $\overrightarrow{v} = v(y).\overrightarrow{u_x}$.





Viscosité

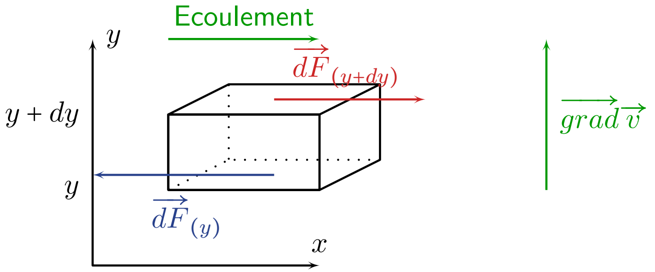
Pour un écoulement $\overrightarrow{v}(M,t) = v(y,t).\overrightarrow{e}_x$, la couche supérieure exerce sur la couche inférieure à une surface de séparation dS une force de viscosité

$$\overrightarrow{dF_{visc}} = \eta.\frac{\partial v}{\partial y}.dS.\overrightarrow{e_x}$$

η : viscosité dynamique du fluide, exprimé en *Poiseuille*

$\nu = \dfrac{\text{viscosité dynamique}}{\text{masse volumique}} = \dfrac{\eta}{\mu}$, Unité : $Stokes\ (St)$

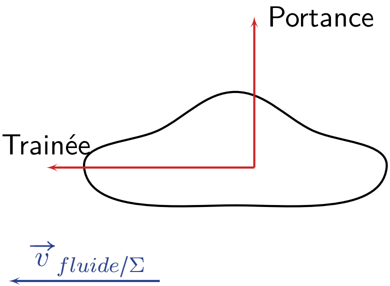
Fluide vérifiant la loi empirique décrite ci-dessus



Densité volumique des forces de viscosité

Pour une particule d'un fluide Newtonnien, la résultante des forces de viscosité sur la particule de fluide a pour expression $\overrightarrow{dF_{visc}} = +\eta.\Delta\overrightarrow{v}.d\tau$.

$$\overrightarrow{f_{v,visc}} = +\eta.\Delta\overrightarrow{v}$$



portance et trainée

En travaillant dans le référentiel lié au solide étudié, la force qu'exerce le fluide sur le solide peut se décomposer en

- La trainée $\overrightarrow{T}$, tangente à l'écoulement du fluide (≡ frottement fluide)
- La portance $\overrightarrow{N}$, normale à l'écoulement du fluide

Transport par convection

- On a vu l'accélération convective $\overrightarrow{a_{conv}} = \left(\overrightarrow{v} \cdot \overrightarrow{grad}\right)\overrightarrow{v}$, qui peut être vue comme une action sur le fluide représentée par une densité volumique de forces $-\mu.\overrightarrow{a_{conv}}$
- En ordre de grandeur, on peut assimiler ce terme à $-\mu.v.\dfrac{1}{L}.v$

Transport par diffusion

- La force volumique due à la viscosité a pour expression $\Delta\overrightarrow{v}$
- En ordre de grandeur, on peut assimiler ce terme à $\dfrac{v}{L^2}$

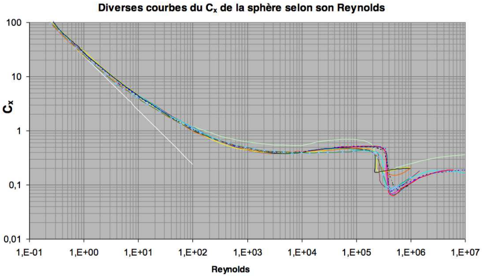
Bilan : $\dfrac{\text{Effets convectifs}}{\text{Effets diffusifs}} = \dfrac{-\mu.v.\dfrac{1}{L}.v}{\dfrac{v}{L^2}} = \mathcal{R}e$

Nombre de Reynolds

Grandeur sans dimension comparant les effets convectifs et diffusifs d'un écoulement sur un obstacle

$$\mathcal{R}e = \frac{\mu.L.v_\infty}{\eta}$$

- Objet de dimensions caractéristiques L (diamètre d'une canalisation, diamètre d'une sphère...)
- Fluide de masse volumique μ, avec un écoulement de vitesse v_∞ loin de l'obstacle et de viscosité dynamique η

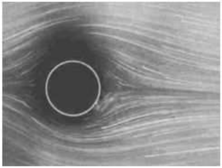


On définit le coefficient de trainée

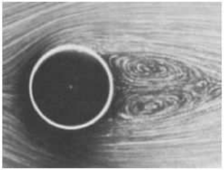
$$C_x = \frac{T}{\frac{1}{2}.\rho.v^2.S}$$

Modèle de Stokes

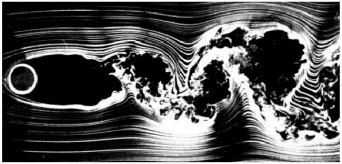
Pour des valeurs faibles du nombre de Reynolds, la trainée pour une sphère est proportionnelle à la vitesse d'écoulement du fluide par rapport à l'obstacle



$\mathcal{R}e = 15$



$\mathcal{R}e = 260$

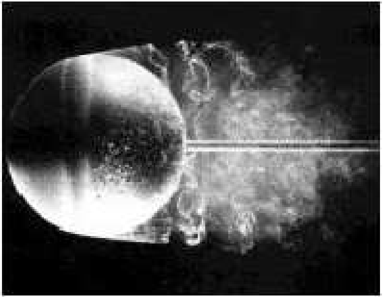


$\mathcal{R}e > 1000$

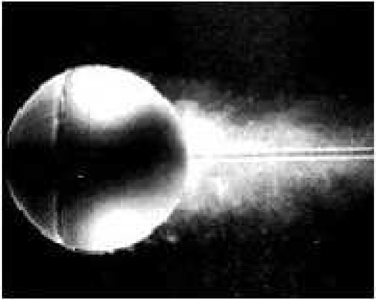
Écoulement laminaire

Un tel écoulement est caractérisé par des lignes de courant régulières ne présentant pas d'évolution erratique. Il correspond à des valeurs du nombre de Reynolds inférieures à 100 environ. Les forces de viscosité empêchent la création de tourbillons.

Effet “becquet” sur un écoulement



Balle simple



Balle avec fil

Écoulement parfait

Un écoulement est dit parfait si tous les phénomènes diffusifs peuvent être négligés.

Pour une particule de fluide, cela correspond à négliger les phénomènes diffusifs :

- de quantité de mouvement : Absence de viscosité
- de transfert thermique : Évolution adiabatique

Un écoulement parfait évolue de manière adiabatique réversible

Près d'un obstacle, le terme diffusif est toujours prépondérant sur le terme convectif. Il existe donc une couche, dite couche limite, où le modèle de l'écoulement parfait n'est pas vérifié.

Couche limite

Sur une petite épaisseur δ autour de l'obstacle se concentrent les phénomènes de viscosité. Au delà, l'écoulement pourra être considéré comme parfait

CAL pour un écoulement

A l'interface de deux systèmes Σ_1 et Σ_2, pour un écoulement

- Parfait : $\overrightarrow{v_{interface}} \cdot \overrightarrow{n_{1\to 2}} = 0$
- Visqueux : $\overrightarrow{v}(I \in \Sigma_1) = \overrightarrow{v}(I \in \Sigma_2)$