

LP 30 - Viscosité

Niveau: L2

Prerequis

- * Fluide parfaits
- * Equation d'Euler
- * Derivee totale et partielle
- * Particule fluide, echelle mesoscopique
- * PFD
- * Chute libre

Bibliographie

- * Frochot
- * Cours J Ferrand

Experience: Ecoulement Couette Cylindrique
Mesure viscosité

Introduction Pédagogique

- * Ce cours se place dans un niveau Licence 2. dans une grande partie sur la mécanique des fluides
- * Ce cours vient après un cours sur la dynamique des fluides parfaits
- * Les élèves sont donc familiers avec ce qu'est un écoulement, un fluide (parfait)
- * On considère aussi qu'ils maîtrisent les dérivées partielles et totale, ainsi que l'équation d'Euler et les pFD sur des particules fluides
- * Ce cours regroupe beaucoup de notions que l'on peut développer, on a fait le choix ici d'introduire la viscosité ainsi que les forces qui en découlent. Le but étant d'arriver jusqu'à l'équation de Navier-Stokes.
- * On a fait le choix de ne pas résoudre cette équation et de ne pas faire l'étude des écoulements, cela sera fait dans un prochain cours
- * On ne parlera pas non plus de résistance hydrod., cela sera abordé en même temps que les écoulements.
- * On a choisi de faire une dernière partie sur la chute libre avec frottement car on peut introduire dans ce cours la force de traînée.
- * C'est une leçon très importante car elle permet de faire l'étude des fluides réels
- * Les difficultés sont de bien comprendre d'où proviennent les forces de frottements ainsi que d'arriver à bien modéliser le phénomène
- * Pour aider la compréhension on utilisera des schémas et on fera appel à des exemples de la vie de tous les jours ainsi que des expériences
- * TD : Sur l'étude du viscosimètre à écoulement
- * TP : Détermination de coeff viscosité avec des chutes libres
- * Etude de doc : Sur l'évolution de η avec la température (magma) et en fonction de la contrainte

Introduction

* Bonjour dans ce cours nous allons parler de viscosité, ça doit quelque chose à tout le monde, en arriver à appréhender la notion

- L'eau est moins visqueuse que l'huile ou le miel.

* On arrive à comprendre intuitivement que plus un fluide est visqueux moins il va couler, mais on ne sait pas encore décrire la viscosité de façon physique

Objectif : Comprendre l'origine des forces de viscosité et savoir évaluer l'effet de la viscosité

Transition : Comment est ce qu'on peut mettre en évidence la viscosité

I - Viscosité d'un fluide

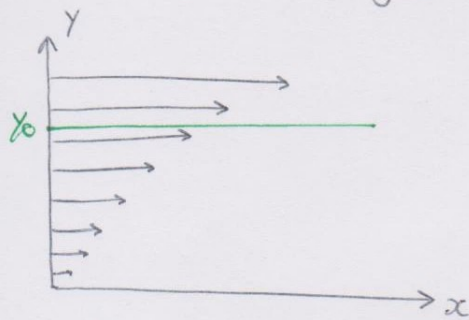
A. Mise en évidence

- * On a vu dans le dernier cours les fluides parfaits, mais comme bien souvent en physique rien n'est parfait
- * En réalité les fluides ont une certaine viscosité qui fait qu'il vont avoir plus de mal à couler (animation) 
- ↳ Il y a une expérience où des scientifiques observent une goutte de peinture tomber tout les jours.
- ↳ video $\Rightarrow$ ce fluide n'est pas parfait.
- * On peut faire une petite expérience simple (exp) 
 - On a un fluide entre 2 cylindres, on fait bouger le cylindre intérieur.
 - Par un fluide parfait, il doit glisser sur la paroi, donc on n'aurait pas de mouvement, hors ici on en a.
- * Et si je tourne dans l'autre sens on revient au point de départ.

Transition : Comment on peut réussir à modéliser tout ça, et comprendre ce qui s'est passé ?

B - Force de viscosité

- * Dans un fluide visqueux, il y a des forces de frottement entre les différentes couches de fluide
- * Comme pour la mécanique classique, ce sont des forces qui sont tangentes aux surfaces de fluide.
- * Si on considère un fluide s'écoulant dans un plan parallèle au plan xOy



Si on prend un plan séparant 2 zones, en y_0

↳ Le fluide en dessous exerce une force sur le fluide en dessus : force viscosité

$$\boxed{F_{h \rightarrow b} = \eta \left. \frac{\partial v}{\partial y} \right|_{y_0} S \vec{e}_x}$$

avec η le coeff de viscosité dynamique
en $\text{Pa} \cdot \text{s} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} = \text{Pl}$

- * Mais en mécanique des fluides on travaille plutôt avec des forces volumiques.
- * On prend cette fois une particule fluide microscopique subissant des forces de viscosité (des deux côtés)

$$\begin{aligned} d^3 \vec{F}_{\text{tot}} &= d^3 \vec{F}_{h \rightarrow v} + d^3 \vec{F}_{b \rightarrow v} = \eta \frac{\partial v}{\partial y}(y_0 + dy) d^2 S \vec{e}_x - \eta \frac{\partial v}{\partial y}(y_0) d^2 S \vec{e}_x \\ &= \eta \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \Big|_{y_0} dy d^2 S \vec{e}_x \end{aligned}$$

- * en divisant par $d^3 V = dy d^2 S$ et en faisant le raisonnement à 3D : force cisailante

$$\boxed{\vec{\sigma}_{\text{cis, vol}} = \eta \Delta \vec{v}}$$
 : les fluides rapides entraînent les lents et inversement

Transition : On a introduit une nouvelle grandeur, le coefficient de viscosité dynamique, il serait intéressant d'en avoir un ordre de grandeur.



II. Influence de l'écoulement

A. Nombre de Reynolds et écoulement

* Si on fait en PFD sur une particule de fluide avec la nouvelle force :

$$\rho \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = -\vec{\text{grad}} P + \eta \Delta \vec{v} + \vec{f}_{\text{ext, ext}} \quad : \text{Navier-Stokes}$$

* C'est une équation qui est difficile à résoudre, dans ce cours on va essayer de comprendre pourquoi la tâche de colorant revient à sa position initiale, on étudiera des écoulements au prochain cours

* On peut définir un nombre sans dimension qui va caractériser l'écoulement :

Nombre de Reynolds :
$$Re = \frac{\rho U L}{\eta} = \frac{\mu L}{\nu}$$

avec ν : coeff viscosité cinématique en $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

μ : vitesse fluide

L : diamètre du tube

* Si $Re > 2000$ on a un écoulement dit turbulent : (projo)

* Si $Re < 2000$: laminaire (projo) 

* En fait Re permet de comparer les termes convectif et diffusif

$$Re = \frac{\|(\vec{v} \cdot \vec{\text{grad}}) \vec{v}\|}{\|\eta \Delta \vec{v}\|}$$

* Dans le cas de notre cylindre μ petit : ν grand : $Re \ll 1$

• en régime permanent : $\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = 0$ et $\|(\vec{v} \cdot \vec{\text{grad}}) \vec{v}\| \ll \|\eta \Delta \vec{v}\|$

• On a donc $\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = 0 = -\overset{=0}{\vec{\text{grad}}} p + \eta \Delta \vec{v} + \overset{=0}{\vec{f}_{\text{ext}}} = 0$

↳ on a uniquement $\eta \Delta \vec{v} = \vec{0}$: réversible, c'est bien ce qu'on obtient.

Transition : On a bien compris pourquoi on obtenait ce résultat, mais est-ce qu'il y a d'autres paramètres qu'on peut obtenir sans résoudre l'équation ?

B. Force de traînée

- * Un autre aspect de la viscosité que l'on expérimente souvent c'est les frottements lors d'une chute libre
- * Cette fois c'est un objet qui n'est pas de même nature que le fluide
- * On a ce qu'on appelle une force de traînée

$$\vec{F}_{\text{traînée}} = \frac{1}{2} C_x \rho v_{\infty}^2 S_{\text{app}}$$

- * La viscosité se retrouve dans le coefficient de traînée C_x car il dépend de Re
 - ↳ pour une sphère en écoulement rampant $C_x = 24/Re$.
- * Sinon on peut voir l'évolution
 - ↳ projection

- * Si on fait l'application par une chute libre d'une bille dans un fluide

PFD: $m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{traînée}}$

- * En régime permanent on a une vitesse limite

$$0 = -mg + \frac{1}{2} C_x \rho v_{\ell}^2 S_{\text{app}}$$

$$\Rightarrow v_{\ell} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho C_x S_{\text{app}}}} \Rightarrow \text{animation}$$

Conclusion On a vu dans ce cours que les fluides n'étaient pas parfaits, et qu'en fait au sein de ces fluides des forces de frottement interne qui sont les forces de viscosité, elles ont une grande influence sur les écoulements, que l'on peut évaluer avec le nombre de Reynolds

↳ On verra au prochain cours comment on peut résoudre l'équation de Navier-Stokes dans certains cas

C. Mesure de la viscosité

* On peut aussi avoir une autre expression pour la force de traînée (laminar?)

$$\vec{F} = - 6\pi\eta \frac{r}{1 - 2,1 \frac{r}{R}} \cdot \vec{v}$$

Viscosité fluide Rayon bille Rayon Tube

* Due aux recirculations provoquées par le mouvement de la bille

* En régime permanent un PFD nous donne

$$- 6\pi\eta \frac{r}{1 - 2,1 \frac{r}{R}} v + mg + \rho_F \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = 0$$

$$\Leftrightarrow \eta = \frac{2}{9} \frac{\rho_{bille} - \rho_F}{v} r^2 g \left(1 - 2,1 \frac{r}{R} \right)$$

* En mesurant v une fois le régime limite atteint ($v = d/St$) on peut faire une mesure de η

* Sinon on peut tracer $v/r^2 = f(r)$ et on devrait avoir une droite et on pourra déduire du coeff directeur η