

LP.31 Viscosité

Lucie

| Élément imposé – Rhéomètre de Couette

Niveau : L2

Pré-requis :

- Statique des fluides mécanique (L1) : Equivalent volumique des forces de pression, notion de référentiel, poussée d'Archimède
- Dynamique des fluides (L2) : Equation d'Euler, dérivée particulaire
- Notions mathématiques (L2) : Equation différentielle, développement de Taylor, Laplacien...

Difficultés :

- Différentes lois et modèles à ne pas confondre
- Calculatoire (opérateurs à maîtriser)

Activité :

- TP : Ecoulement de Darcy
- TD : Ecoulement de Poiseuille
- Etude documentaire : Circulation sanguine

Biblio :

- Grecias
- Baud
- Sanz (Rhéomètre)

Plan proposé

1	La viscosité des fluides	2
1.1	La force de viscosité	2
1.2	Equivalent volumique et équation de Navier Stokes	2
2	Détermination de la viscosité	3
2.1	Détermination expérimentale	3
2.2	Rhéomètre de Couette	3

Intro pédagogique

Avant la leçon : Statique des fluides et dynamique des fluides parfaits. Evaluation diagnostique (WooClap)

Objectifs :

- Comprendre et savoir modéliser le comportement d'un fluide réel
- Savoir mesurer la viscosité

Intro

Leçon

Dans les fluides parfaits, on néglige la viscosité
Exemple entre eau et miel qui coule : différentes dynamiques
[Billes qui tombent dans l'eau et l'huile Rothierm]

1 La viscosité des fluides

1.1 La force de viscosité

Un **fluide visqueux** est un fluide dans lequel il existe des **forces de frottement** entre les particules de fluide et la paroi (**NON, entre particule de fluide et particule de fluide**)

Contrainte tangentielle : \vec{F}_t : force de frottement par unité de surface qui s'exerce

— Force tangentielle : $d\vec{F}_t = \vec{F}_t dS$ (\vec{F}_t en Pascal)

— Force pressante : $d\vec{F}_m = P d\vec{S}$

Pour un fluide Newtonien :

$$F_t = -\eta \frac{\partial v}{\partial z} \text{ (en coordonnées cartésiennes)}$$

Cette force a tendance à homogénéiser le champ de vitesse. On a η la viscosité dynamique.

Analyse dimensionnelle : $[\eta] = \text{Pa}\cdot\text{s} = \text{PI}$ (Poiseuille)

OdG : η à 20°C, 1 bar :

- air $1.7 \cdot 10^{-5}$ PI
- eau $1.0 \cdot 10^{-3}$ PI
- huile d'olive 0.8 PI

1.2 Equivalent volumique et équation de Navier Stokes

[Diapo : Bilan sur un volume mésoscopique du fluide. Force tangentielle au dessus et en dessous, développement de Taylor, on fait apparaître le volume et on a alors l'équivalent volumique]

$\frac{d\vec{F}}{d\tau} = \eta \vec{\Delta} \vec{v}$ qui est la force de viscosité

Théorème de la résultante cinétique sur la particule de fluide dans le référentiel terrestre galiléen, on obtient l'équation de Navier-Stokes :

$$\rho \frac{D\vec{v}}{Dt} = -\text{grad}(P) + \eta \vec{\Delta} \vec{v} + \rho \vec{g} : \text{A connaitre}$$

2 Détermination de la viscosité

2.1 Détermination expérimentale

[Manip : Mesure de la viscosité, mesure du temps de chute sur une distance]

$$\rho_{huile} = 970 \text{ kg/m}^3 \text{ et } \rho_{bille} = 7.88 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Selon Oz : $m \frac{dv}{dt} = -\rho_{bille} \times \frac{4}{3} \pi r_{bille}^3 g + \rho_{huile} \times \frac{4}{3} \pi r_{bille}^3 g + 6\pi\eta r v$ (la dernière force est celle de frottement)

$$\text{Ca donne } v = \frac{2r^2}{9\eta} g (\rho_{bille} - \rho_{liq}) [1 - e^{-\frac{t}{\tau}}].$$

$$\text{Donc } v_{lim} = \frac{2r^2}{9\eta} g (\rho_{bille} - \rho_{liq})$$

[mesure pour plusieurs taille de bille] : $\eta = 1.67 \text{ PI}$

Incertitudes de Sur le coefficient directeur a : $\frac{U(\eta)}{\eta} = \sqrt{\frac{U(a)^2}{a^2}}$ donc $U(\eta) = 0.2 \text{ PI}$

$$\eta_{huile} = 1.7 \pm 0.2 \text{ PI}$$

2.2 Rhéomètre de Couette

Viscosimètre plus sophistiqué. [Image]. Calcul écoulement de Couette cylindrique.

\vec{v} dépend uniquement de r, et selon \vec{u}_θ donc $\eta \Delta v_\theta = 0$

Cl : $v(r_{int}) = r_{int} \omega$ et $v(r_{ext}) = 0$

$$\text{Donc } v = \frac{R_{int} \omega}{R_{ext} - R_{int}} (R_{ext} - r) u_\theta$$

$$dR_{visc} = \eta \frac{\partial v}{\partial r} dS \vec{u}_\theta = -\eta \omega \frac{R_{int}}{R_{ext} - R_{int}} dS \vec{u}_\theta$$

$$\text{Donc } d\vec{M}_v = \vec{OM} \times dF_{visc} = -\eta \omega \frac{R_{int}^3}{R_{ext} - R_{int}} H d\theta \vec{u}_z$$

$$\text{Donc } \vec{M}_v = \frac{-2\pi\eta H R_{int}^3}{R_{ext} - R_{int}} \vec{\omega}$$

Conclusion

Suite : écoulement de Poiseuille

Questions/Réponses

Questions

Réponses

<i>Rhéomètre utilisés ?</i>	Souvent, mais pas forcément. Également avec les deux cylindres qui tournent. Également avec écoulement de Poiseuille. Dépend de à quel point le fluide est visqueux. On utilise également le cisaillement entre des disques pour les fluides très pâteux
<i>Mesurer l'eau ?</i>	Complicé car peu visqueux. A partir de 20 fois la viscosité devient plus faisable
<i>Quels autres fluides ?</i>	Non newtonien, rhéoépaississant (maizéna) et rhéofluidissant (dentifrice) : contrainte tangentielle non linéaire
<i>Bcp de fluides non newtonien ?</i>	Quand les molécules commencent à s'allonger on est Newtonien que sur une gamme. Polymère non newtonien
<i>Écoulement de Darcy</i>	Milieu poreux. Darcy s'occupait de la plomberie de sa ville
<i>Loi de Darcy</i>	
<i>def Fluide ?</i>	Occupe l'espace qu'on lui donne
<i>Def viscosité que paroi ??</i>	
<i>Fluide parfait ?</i>	Frottement entre fluide et paroi, mais pas entre les particules de fluides
<i>Couche limite ?</i>	$\frac{L}{\sqrt{Re}}$ avec viscosité au niveau de la paroi
<i>Signe - pour la contrainte tangentielle</i>	Particule du haut sur particule du bas
<i>Différence entre loi et modèle</i>	
<i>différence entre écoulement incompressible et fluide incompressible</i>	Écoulement incompressible : dérivée particulaire de ρ nulle
<i>Viscosité dépend de ?</i>	T, la viscosité varie en exponentielle décroissante de T
<i>VP : Métier scientifique généré ?</i>	Exemple de femme dans le milieu. Faire venir un intervenant/Connaissance

Debrief

Attention aux signes

Expérience : fluide visqueux avec ligne de colorant

Important de toujours préciser les référentiels. Préciser que c'est incompressible

Mettre les calculs compliqués en TD ?

L. *Titre*

Possibilité de parler de couche limite, de nombre de Reynolds, etc, d'écoulement de Poiseuille