

LP 31 : Viscosité

Annabelle et Lucie

22 avril 2022

Introduction pédagogique

Niveau L2

EI possibles Nombre de Reynolds, écoulements de couette, loi de poiseuille, résistance hydraulique, circulation sanguine, forces de cisaillement...

Difficultés possibles :

- Différentes lois et modèles à ne pas confondre
- Un peu calculatoire : équation différentielles, dérivées particulières

Biblio :

- Dunod Sanz PC/PC*
- Fruchard expérience
- Physique collection prépa Stéphane Olivier PC/PC*
- Grecias BCPST VETO 2ieme année Le tout en 1 : pleins d'exercices corrigés

Activités liées

- TP : non proposés des manip possibles
- TD : écoulement de couette plan, viscosimètre de couette
- Etude de document sur la circulation sanguine

Manipulations possibles Loi de Darcy, écoulement de poiseuille, Stokes ?

Blabla pédagogique Séquence de mécanique des fluides sur la statique des fluides puis dynamique des fluides parfait puis cette séquence où on étudie les fluides réels.

Introduction

Expérience avec le colorant et la plaque mobile qui entraîne. Différence écoulement de l'eau et du miel par exemple. Vidéos possibles :

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/physique-animee-poiseuille.xml>

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/divers/stokes.html>

1 Viscosité d'un fluide

1.1 Force de viscosité de cisaillement

définition d'un fluide réel/visqueux, expression de la force (cas des fluides newtoniens), interprétation, force proportionnelle à viscosité cinématique, analyse dimensionnelle pour unité, valeurs pour l'eau et le miel vidéo pour les comparer :

bonus taux de cisaillement

1.2 Equivalent volumique

Calcul de l'équivalent volumique, passage de l'équation d'Euler à l'équation de Navier Stokes (on rajoute une force aux bilans pour appliquer la loi de Newton).

2 Influence de la viscosité sur le type d'écoulement

2.1 Nombre de Reynolds

Dans l'équation de Navier Stokes 2 modes de transport : convectif et diffusif : construction du nombre de Reynolds. Faire apparaître viscosité cinématique si on veut.

2.2 Différents types d'écoulement

Expérience historique de Reynolds, cas des différents écoulement avec figures : laminaire, turbulent.

3 Application à l'écoulement de Poiseuille

3.1 Calcul et théorie

Définition écoulement de poiseuille calcul d'un écoulement de poiseuille, démo, bonus résistance hydraulique et comparaison électricité

3.2 Vérification expérimentale

Manipulation quantitative sur loi de poiseuille.

4 Autre partie alternative à la précédente : Lois pour des écoulements à faibles nombres de Reynolds

4.1 Loi de Stokes ou loi de Darcy au choix

Si Stokes : Graphe de $C(Re)$ en fonction de Re , expression de la loi, utilisations.

4.2 Vérification expérimentale de la loi

Manip quantitative sur celle faite avant

5 Partie bonus : écoulement de couette plan, viscosimètre de Couette

Leçon présentée par Lucie EI : Rhéomètre de Couette

Niveau L2

Prérequis

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

Biblio

- Grecias, Baud, Sanz

Discours Avant cette leçon chapitre sur statique des fluides et dynamique des fluides parfait.

Intro

Séquence d'avant on a parlé de fluide parfait. On a négligé un aspect : la viscosité. Manip qualitative : 2 grandes éprouvettes, une avec de l'eau, l'autre avec l'huile Rothierm, la bille tombe plus vite dans l'eau que dans l'huile. C'est dû à la viscosité.

Objectif de ce cours : Comprendre et savoir mobiliser le comportement d'un fluide réel, savoir mesurer la viscosité dynamique.

1 La viscosité des fluides

1.1 La force de viscosité

Un fluide visqueux est un fluide dans lequel il existe des forces de frottements entre les particules du fluide et la paroi. Définition pas super

Contrainte tangentielle : $\vec{\tau}_t$ force de frottement par unité de surface qui s'exerce sur une surface en contact avec le fluide

Force tangentielle $d\vec{F}_t = \vec{\tau}_t dS$ où $\vec{\tau}_t$ est en Pa comme la pression cf ci-dessous

Force pressante $d\vec{F}_n = p d\vec{S}$

Pour un fluide newtonien :

$$\tau_t = -\eta \frac{dv}{dz}$$

Cette force a tendance à homogénéiser le champ de vitesse. On a η la viscosité dynamique. Analyse dimensionnel $[\eta]$ en Pa.s = Pl (poiseuille)

Quelques ordres de grandeurs à 20°C sous 1 bar :

- air : $1,7 \cdot 10^{-5}$ Pl
- eau : $1,0 \cdot 10^{-3}$ Pl
- huile d'olive : 0,8 Pl

1.2 Équivalent volumique et équation de Navier Stockes

Démo projetée. On s'intéresse à 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.

$$\frac{d\vec{F}}{dV} = \eta \Delta \vec{v}$$

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

Commentaire sur NS : locale, non linéaire, compliquée à résoudre donc il faut faire des simplifications pour la résoudre.

Transition On peut se demander comment on mesure la viscosité.

2 Détermination de la viscosité

2.1 Détermination expérimentale de la viscosité

Manip quanti cf liste manip physique.

Transition : Méthode applicable en TP mais pour des mesures plus précise on utilise des viscosimètres, ce qu'on va étudier dans la prochaine partie.

2.2 Rhéomètre de couette

C'est un viscosimètre légèrement plus sophistiqué. Image projetée. Expliquer le fonctionnement. Calcul écoulement de Couette cylindrique. On a une vitesse de la forme :

$$v = \frac{R_{int}\omega}{R_{ext} - R_{int}}(R_{ext} - r)\vec{u}_\theta$$

$$dM_v = -\eta\omega \frac{R_{int}^3}{R_{ext} - R_{int}} H d\theta \vec{u}_z$$

$$M_v = \frac{-2\pi\eta H R_{int}^3}{R_{ext} - R_{int}} \vec{\omega}$$

Question

- Autres méthodes de mesure de viscosité que rhéomètre ? Certains viscosimètres utilisent les écoulements de Poiseuille (viscosimètre de Ostwald). Différents viscosimètre en fonction de à quel point le fluide est visqueux. Aussi utilisation du cisaillement en utilisant des disques qui tournent pour des trucs pateux qui sont galères à mettre entre les deux cylindre du viscosimètre
- Est ce que c'est facile de mesurer la viscosité de l'eau ? Compliqué car peu visqueux. A partir de 20 fois la viscosité de l'eau ça devient plus faisable.
- Quels autres fluides ? Fluide non newtonien : fluide rhéoépaississant et rhéofluidissant : contrainte tangentielle pas linéaire. Pour un rhéofluidissant quand on augmente la contrainte se fluidifie (dentifrice), pour rhéoépaississant c'est le contraire (maizena)
- Beaucoup de fluides newtonien ? Quand les molécules commencent à s'allonger on est newtonien que sur une gamme. Sur un polymère c'est pas newtonien.
- Qui était Darcy, d'où vient l'écoulement de Darcy ? Écoulement dans les milieux poreux, Darcy s'occupait de la plomberie de sa ville. Débit volumique proportionnel à la différence de pression.
- C'est quoi la définition d'un fluide ? D'un fluide parfait ? Tout corps qui épouse la forme de son contenant (les liquides, les gaz) [opposé à solide]
- Commenter le signe - dans l'expression de la force de contrainte tangentielle ? Particule du haut sur particule du bas
- Viscosité du miel ? De 1 à 10 Pl
- Viscosité dépend comment de la température ? Pour des liquides quand T diminue η augmente (exponentielle décroissante)
- Pl couramment utilisé ? Non on utilise des multiples de l'eau.
- Différence fluide incompressible et écoulement incompressible ? Pour écoulement incompressible : $\text{grad}(\rho) = 0$, fluide incompressible : si on augmente la pression on ne change pas son volume.

3 Commentaire

Changer les difficultés pour rendre le tout plus clair. Définition de fluide visqueux à revoir. Mettre la video de couette plan dans le 1 pour voir d'où viens le gradient. Ne pas faire les calculs pour l'élément imposé dire que ce sera fait en TD et plus décrire le système.