

Notion de viscosité d'un fluide. Écoulements visqueux

June 7, 2025

Référence

Expérience : Écoulement de Poiseuille

Livre :

- Physique PC/PC* Tout-en-un, Dunod, 2022
- Hydrodynamique physique, Guyon, Heulin et Petit

Prérequis :

- Description des écoulements
- Équivalent volumique des forces de pression
- Diffusion
- Dérivée particulière

Niveau :

Introduction

Vidéo sur la viscosité et la réversibilité de l'écoulement laminaire

1 Notion de viscosité

1.1 Force de viscosité

Schéma de l'écoulement Couette plan (bien définir sur quoi la force s'applique et son origine)
Étudions un cas particulier appelé écoulement de Couette plan. On montre que le profil des vitesses est linéaire. On peut observer qu'on a une loi de la forme : $F_x = \eta \frac{\partial v_x}{\partial z}$ avec η un coefficient de proportionnalité appelé viscosité dynamique, mesuré en *Pa.s*. Cette relation s'appelle la loi de Newton.

Ordres de grandeur de η pour différents fluides.

Différence de comportement entre liquide et gaz avec la température (η augmente avec T pour les gaz mais diminue pour les liquides)

1.2 Équation de Navier-Stokes

À partir du principe fondamental de la dynamique appliqué à une particule de fluide dans un écoulement incompressible, on obtient l'équation de Navier-Stokes :

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\text{grad}}) \vec{v} \right) = -\vec{\text{grad}} P - \rho \vec{g} + \eta \Delta \vec{v} + \vec{f}_{vol}$$

Origine de chaque terme : Dérivée particulière Gradient de pression Forces volumiques de pesanteur Forces volumiques de viscosité-> détaillé avec le bilan des forces sur une particule avec la loi de Newton.

Cette équation est assez compliquée et en pratique on va chercher à la simplifier. Pour cela, on néglige les termes dont l'ordre de grandeur est petit devant les autres termes. Un nombre très

pratique pour cela est le nombre de Reynolds Re qui permet de comparer le terme de convection au terme de diffusion.

$Re = \frac{\text{convection}}{\text{diffusion}} = \frac{\|\rho \vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}} \vec{v}\|}{\eta \Delta \vec{v}} = \frac{\rho U L}{\eta}$ où U est la vitesse caractéristique de l'écoulement et L la taille caractéristique de l'écoulement.

2 Écoulements visqueux

2.1 Écoulement de Poiseuille

Schéma de l'écoulement de Poiseuille

Hypothèses de l'écoulement de Poiseuille Calcul du profil de vitesse dans le tube

Expérience de la perte de charge dans l'écoulement de Poiseuille -> penser à calculer le nombre de Reynolds pour justifier l'écoulement visqueux

2.2 Loi de Stokes

Un fluide, grâce à sa viscosité, exerce une force sur un objet qui s'y déplace (à l'inverse, si le fluide se déplace autour d'un objet, il exerce une force de traînée sur l'objet). Il existe une formule analytique pour une sphère : $\vec{F}_{trainee} = -6\pi\eta R \vec{v}$ (loi de Stokes)

Expérience quantitative

Objectif de l'expérience

Vérifier la loi de Poiseuille

Matériels

- Banc d'expérience de Poiseuille (avec vase de Mariotte)
- Éprouvette graduée (50mL)
- Chronomètre
- Eau permutée
- Mètre

Protocole

Choisir un débit avec la hauteur du tube en verre dans le vase de Mariotte Mesurer le débit avec l'éprouvette et le chrono Mesurer les hauteurs d'eau dans chaque colonne

Précautions expérimentales

Les dimensions du tube et la distance entre les colonnes sont définies dans la notice. Faire attention de ne pas trop baisser le tube dans le vase de Mariotte (le débit n'est déjà pas hyper constant mais plus le tube est bas, plus les variations sont importantes).