

Table des matières

Introduction	2
1 Leçons de physique	3
1.1 LP03 Notion de viscosité d'un fluide. Écoulement visqueux	4
Liens	9
Bibliographie	10

Introduction

Code couleur

Cadre de la leçon.

Expérience. Les manip et l'expérience quantitative propre à l'agrégation externe spéciale.

Slide. Le contenu à projeter à l'écran : slides, vidéos, ressources internet, etc.

Les transitions indispensables à la fluidité du discours !

Fun facts : moins important que les remarques mais quand même.

Les remarques sur des points non essentiels mais qu'il est bon de grader en tête.

Les leçons LC01 à LC09 sont placées au niveau lycée. Les leçons LC10 à LC19 sont placées en CPGE.

Chapitre 1

Leçons de physique

1.1 LP03 Notion de viscosité d'un fluide. Écoulement visqueux

Niveau :
CPGE

Prérequis :

- Cinématique des fluides, description eulérienne
- Hydrostatique
- Équation de diffusion

Objectif de la leçon : Décrire la viscosité d'un fluide et comprendre son origine en la rattachant à un processus de diffusion. Mettre en évidence son influence dans plusieurs écoulements.

Bibliographie

- [OGS00]
- [SVSC16]
- [LL71]
- [Rab19]
- [GHP01]
- BUP 814, 1999
- Vidéo de 3Blue1Brown sur la turbulence

Prendre le temps de bien poser le problème à chaque fois ! Et donner les hypothèses avant, pas à la fin de l'énoncé de la formule.

Introduction

Évaluation qualitative de la viscosité de quelques fluides. Faire couler plusieurs liquides et constater des différences majeures de comportement. Mentionner la différence entre les gaz et les liquides.

Existence de contraintes tangentielles dans un fluide.

1.1.1 Description de la viscosité d'un fluide

1.1.1.1 Actions de contact dans un fluide

Dire un mot sur la pression : force normale.

Pas le temps. Choisir entre ça et l'intro. [Video](#). Bien décrire le setup et dire que le régime permanent est atteint lors de la mesure. On mesure la force nécessaire pour faire bouger les plaques, c'est une force surfacique.

La force dépend de la nature du fluide : introduire η .

Établir l'expression de la force de viscosité mésoscopique [OGS00] p418 :

- unité de η
- exemples de valeurs [OGS00] p423
- commentaires de [OGS00] p419 pour introduire le caractère diffusif de la viscosité.

Cette forme de la force de viscosité est propre aux fluides newtoniens. Cette relation constitue la définition du coefficient de viscosité dynamique.

Ici on modélise bien l'interaction avec une paroi, mais dans un fluide il vaut mieux utiliser l'équivalent volumique des forces de viscosité

1.1.1.2 Force volumique de viscosité

Faire le bilan sur une particule mésoscopique de fluide [OGS00] p420. Bien faire le schéma et préciser les hypothèses sur l'écoulement. L'expression est valable pour un écoulement incompressible, ce qui est le cas ici.

Se rappeler de la démonstration pour montrer qu'un écoulement incompressible ($\frac{D\rho}{Dt} = 0$) est équivalent à $\text{div } \vec{v}$ avec la conservation locale de la masse et la définition de la dérivée particulaire. Il existe une viscosité de volume ou viscosité volumique qui intervient dans le cas des écoulements compressibles.

Quelle est l'origine de la viscosité? Comme souvent, l'explication se trouve dans la description de phénomènes microscopiques.

1.1.1.3 Interprétation microscopique qualitative de la viscosité

Dans le cas d'un gaz. Faire un schéma d'un écoulement laminaire avec les différentes couches de fluide et expliquer la variation de quantité de mouvement d'une particule de fluide par le passage d'un atome dans la particule de fluide voisine par l'agitation thermique.

Dire que c'est bien un phénomène diffusif au même titre que la température, où le coefficient qui caractérise l'évolution du système est ν . Justifier sa forma par analyse dimensionnelle.

La modélisation quantitative [OGS00] p424 et [GHP01] p95-99 permet de relier la viscosité à la vitesse quadratique d'un gaz. C'est la modélisation d'Enskog. Il est alors normal que la viscosité soit fonction croissante de la température, contrairement aux liquides dans lesquels les interactions entre particules sont fortes. Voir la page [Wikipedia](#) pour quelques détails.

Comment décrire l'écoulement d'un fluide visqueux?

1.1.2 Écoulements visqueux

1.1.2.1 Équation de Navier-Stokes

Suivre [SVSC16] p305. Faire un bilan des forces et appliquer le PFD pour trouver l'équation de Navier-Stokes.

L'équation de Navier Stokes n'est valable que pour un écoulement incompressible et pour un fluide newtonien compte tenu de la forme supposée pour la force volumique de viscosité.

Suivre [OGS00] p422 pour la discussion des termes convectif et diffusif. Faire apparaître explicitement l'équation de diffusion sur la quantité de mouvement.

Viscosité de quelques fluides.

Introduire le nombre de Reynolds [OGS00] p423.

Interprétation du nombre de Reynolds en terme de temps caractéristiques de diffusion et convection dans [GHP01] p101.

La résolution de l'équation de Navier-Stokes nécessite des conditions aux limites.

1.1.2.2 Conditions aux limites

Suivre [Rab19] p25, les explications sont un peu plus poussées que dans [SVSC16].

On néglige ici les effets liés à la tension de surface, mais garder en tête qu'ils apparaissent dès que la surface est courbée (loi de Laplace).

Conditions aux limites. Présenter correctement le tableau directement pour gagner du temps si nécessaire.

Voyons un cas particulier : l'écoulement de Poiseuille.

1.1.2.3 Écoulement de Poiseuille

Pas faire l'écoulement de Poiseuille ça prend trop de temps. Faire plutôt l'exercice 2.4 de [OGS00] p444 pour insister encore sur le caractère diffusif.

[SVSC16] p351 ou mieux : [OGS00] p435. Retrouver le profil parabolique de vitesse et le montrer en [vidéo](#).

Loi de Poiseuille et expérience de Reynolds. Faire la distinction entre écoulement laminaire et turbulent. [Une belle vidéo](#) pour montrer un écoulement à très faible Reynolds.

Écoulement de Poiseuille. Juste une idée, elle est pénible à installer mais bon.

L'exemple de l'écoulement de Poiseuille se prête mal à la discussion autour du nombre de Reynolds : dans la forme supposée de l'écoulement, le terme convectif est exactement nul. Le nombre de Reynolds est alors nul aussi et l'estimation par les grandeurs caractéristiques de l'écoulement est fausse.

Sur l'analogie électrocinétique : la résistance hydraulique n'a pas la même dépendance en R car le profil de vitesse est différent en raison des conditions aux limites.

La viscosité est associée à des processus de dissipation. Voyons le cas d'un écoulement autour d'une bille.

1.1.3 Écoulement autour d'une sphère

1.1.3.1 Viscosimètre à chute de bille

Faire l'expérience qualitative pour introduire le fait que l'écoulement de fluide visqueux est à l'origine d'une trainée. Supposer « comme d'habitude » une force de frottement linéaire en la vitesse et calculer la vitesse limite. Présenter le principe de l'expérience et faire le calcul de la vitesse limite puis faire la manip.

Chute d'une bille dans le glycérol. L'expression de la vitesse limite trouvée dépend fortement des conditions aux limites. Elle n'est valable exactement que pour un fluide infini ce qui n'est pas le cas ici. Elle constitue une bonne approximation si le diamètre du contenant est cent fois plus grand que celui de la bille. Voir le poly de TP et le BUP pour plus d'informations là dessus.

Avoir en tête d'autres [méthodes](#) pour déterminer la viscosité d'un fluide :

- viscosimètre à écoulement libre ;
- [rhéomètre](#).

En fait l'expression de la trainée est plus complexe et dépend du nombre de Reynolds.

1.1.3.2 Trainée

Objectif : déterminer la force subie par une sphère dans un écoulement de fluide. Suivre [SVSC16] p315 ou mieux [GHP01] p452-453 pour introduire la force de trainée en fonction du nombre de Reynolds.

Coefficient de trainée autour d'une sphère.

Établir la loi de Stokes et mentionner le cas à haut Reynolds.

A faible Reynolds : régime de Stokes. A grand Reynolds : régime inertiel.

Il faut marquer une différence entre un écoulement tourbillonnaire et un écoulement turbulent :

- un écoulement tourbillonnaire se caractérise par une circulation de la vitesse non nulle : on peut associer à l'écoulement un vecteur tourbillon. En ce sens, il s'agit d'une propriété mathématique de l'écoulement.
- un écoulement turbulent est caractérisé par la création de structures à toutes les échelles de temps et d'espace. Il y a une cascade d'énergie à toutes les échelles spatiales, depuis les grands tourbillons qui possèdent une grande énergie cinétique vers les petits qui finissent par la dissiper en raison de la viscosité du fluide en énergie thermique. Ce phénomène est décrit qualitativement en 1922 (cascade de Richardson) puis quantitativement (cascade de Kolmogorov) par la théorie K41. Cette théorie permet d'expliquer la répartition spectrale de l'énergie dans un écoulement turbulent.

Les phénomènes de viscosité sont nécessaires à la création de turbulence, de même qu'ils sont nécessaires à la création de tourbillons (théorème de Kelvin). Une [vidéo de 3Blue1Brown](#) pour visualiser des écoulements turbulents et où il parle de Kolmogorov !

Conclusion

On s'est restreint à l'étude d'écoulement laminaire puisque les écoulements turbulents sont extrêmement difficiles à décrire. Les effets de la viscosité se cantonnent parfois sur des faibles épaisseurs en dehors desquelles il est possible de décrire l'écoulement comme un écoulement parfait : couche limite. On a étudié seulement les fluides newtonniens mais il existe aussi des fluides rhéofluidifiants et rhéoépaississant.

Liens

Sites utiles

- [Site du centre de Montrouge](#) ;
- [Drive personnel](#) ;
- [Drive collectif](#) ;
- [BUPdoc](#) ;
- [Anciens cours de classe préparatoire](#) ;
- [L'agrégation fantastique](#) : les plans de leçon d'Erwan ;
- [Physique et simulations numériques](#) ;
- [Lush projects](#) : un site pour des simulation électroniques ;
- [Physagreg](#) pour des ressources numériques, animations, etc.

Polycopiés de cours

- [\[Nav\]](#) : Conversion électro-magnéto-mécanique ;
- [\[Nev19a\]](#) : Électronique ;
- [\[Nev19b\]](#) : Moteurs ;
- [\[Rab19\]](#) : Notes de cours ;
- [TD d'optique par Clément Sayrin](#) ;
- [\[Thi14\]](#) : Propagation des ondes ;

Bibliographie

- [GHP01] Guyon, E., Hulin, J.-P., and Petit, L. *Hydrodynamique physique*. Edp scienc edition (2001).
- [LL71] Landau, L. and Lifschitz, E. *Course of theoretical physics, Fluid mechanics* (1971).
- [Nav] Naval. *Conversion électro-magnéto-mécanique*. URL http://lnspe2.fr/Cours_Phys/CP02.pdf.
- [Nev19a] Neveu, J. *Electronique* (2019). URL <https://gitlab.in2p3.fr/Jeremy/Electronique>.
- [Nev19b] Neveu, J. *Moteurs et transformateurs électriques* (2019). URL <https://gitlab.in2p3.fr/Jeremy/Moteurs>.
- [OGS00] Olivier, S., Gié, H., and Sarmant, J.-P. *Physique Spé. PC*, PC*. Tec&doc edition (2000).
- [Rab19] Rabaud, M. *Notes de cours sur les fluides*, volume 5 (2019). URL [http://www.fast.u-psud.fr/\\$\sim\\$rabaud/](http://www.fast.u-psud.fr/\simrabaud/).
- [SVSC16] Sanz, M.-N., *et al.* *Tout en Un Physique PC-PC**. Dunod edition (2016).
- [Thi14] Thibierge, E. *Propagation des ondes* (2014). URL http://www.etienne-thibierge.fr/agreg/ondes_poly_2015.pdf.