Titre : Viscosité et écoulement visqueux

Présentée par : **Rapport écrit par** :

Correcteur : **Date** :

Bibliographie de la leçon :			
Titre	**Auteurs**	**Éditeur**	**Année**
			2016

Plan détaillé

[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/.

[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.

Code couleur

Cadre de la leçon.

Expérience. Les manips 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.

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.

Cinématique des fluides c'est simplement que on utilise la derivée particulaire et non la derivée absolue pour la particule fluide0

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.

https://www.youtube.com/watch?v=8Ty07Jelhwg

On peut montrer aussi une video sur les contraintes tangentielles du fluide : https://www.youtube.com/watch?v=pqWwHxn6LNo&feature=youtu.be&t=213 mais elle prend du temps à expliquer. En gros on a aux bords 2 ceintures qui cont dans les sens opposées. Le fluide visqueux (glicine) a donc une vitessse moyenne nulle. Or si on ajoute des billes (encre) on observe que ça suit le mouvement de la ceinture la plus proche avec une vitesse +- forte. (c'est rn RP)

L'objectif de la leçon est de décrire la viscosité dans les gaz et fluides et comprendre comment elle peut influencer l'écoulement.

Pour faire mieux comprendre l'action tangentielle du fluide on montre slide 2.

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 :

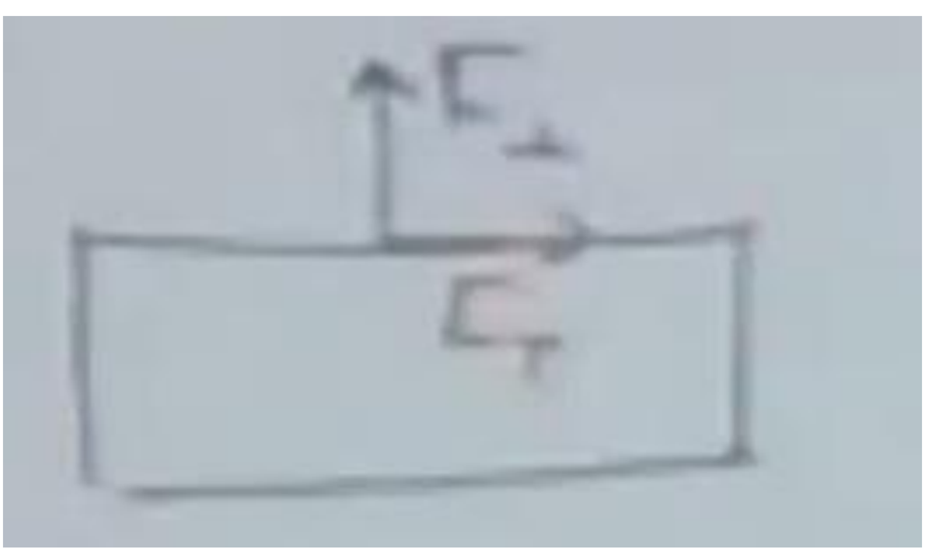
- unité de η
- exemples de valeurs [OGS00] p423
- commentaires de [OGS00] p419 pour introduire le caractère diffusif de la viscosité.

4

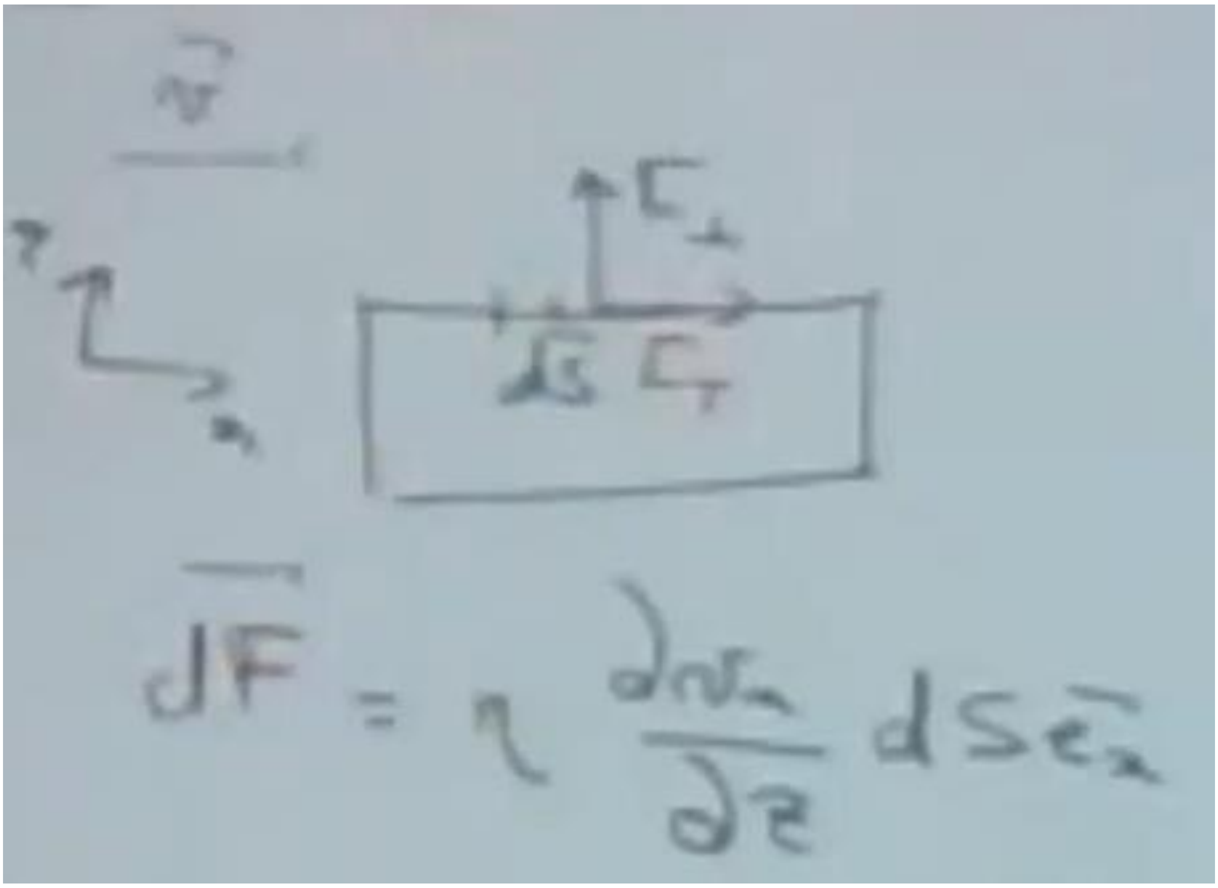
> Cette forme de la force de viscosité est propre aux fluides newtoniens. Cette relation constitue la définition du coefficient de viscosité dynamique.

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

Dans un fluide on a forces de pression normales (exercée par le fluide dans notre schéma) à la surface et forces tangentielles du à la viscosité, exercée par le fluide sur la surface supérieure (qui peut être ue autre couche de fluide ou ue parois). C'est la loi de Newton.



POUR UN FLUIDE NEWTONIEN, Si la surface supérieure est en mouvement par rapport a la particule de fluide, on peut exprimer la force subie par la surface élémentaire dS de la particule fluide en fonction du coefficient de viscosité dynamique et ici du gradient vertical des vitesses et de la surface. On suppose inhomogénéité du gradient de vitesse selon **ez**. **(à revoir formulation, voir dunod p. 290)**

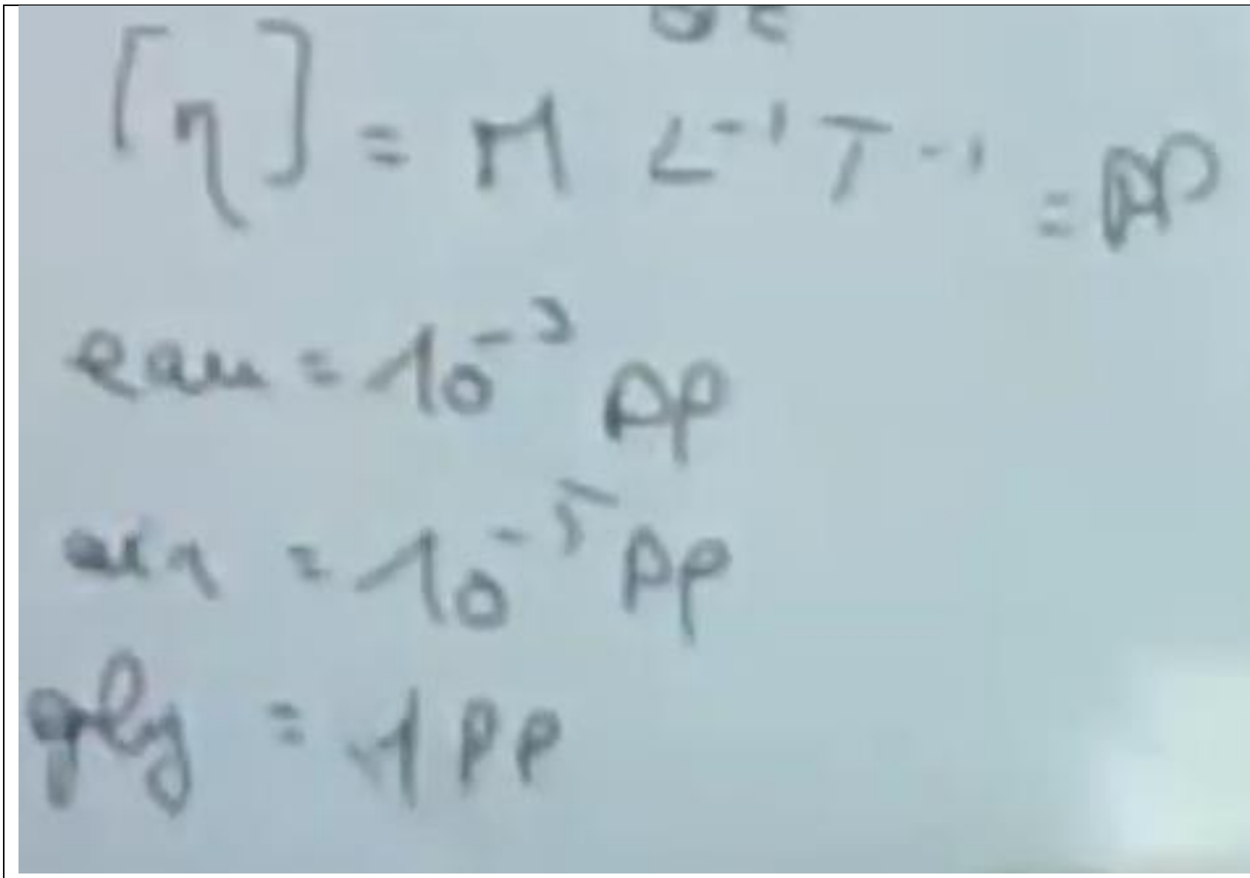


F est la force exercée par la surface sur le fluide.

Rq. Cette équation définie la grandeur éta viscosité dynamique.

Donner la définition de fluide newtonien : Un fluide dont la visosité ne depend pas des contraintes appliquées. Ceci veut dire que la relation entre la vitesse et la contrainte de déformation est lineaire en vitesse. La contrainte de déformation est ici –dF et l’expresson de dF est lineaire en v.

On fait analyse dimensionelle de éta et on donne quelques ODG donner l’unité (poiseuille).



Glycerol déjà très visqueux.

La forme de F montre que Forces de viscosité existent que si on a inomogénéité de vitesse dans le milieu. Les forces de viscosité ont tendance à homogénéiser la vitesse dans le milieu (c.f. on fait bouger les couches de fluide successives dans l'experience/slide). Caractère diffusuf des forces de viscosité.

On voudrait établir la force volumique deviscosité.

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 ($\frac{\mathrm{D}\rho}{\mathrm{D}t} = 0$) est équivalent à 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.

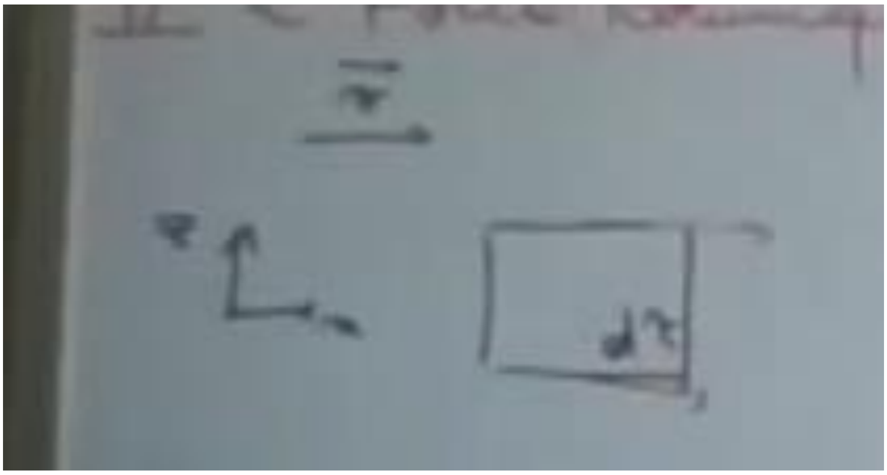
> Quelle est l'origine de la viscosité ? Comme souvent, l'explication se trouve dans la description de phénomènes microscopiques.

On suppose que l''eculement se fait selon **ex** seulement

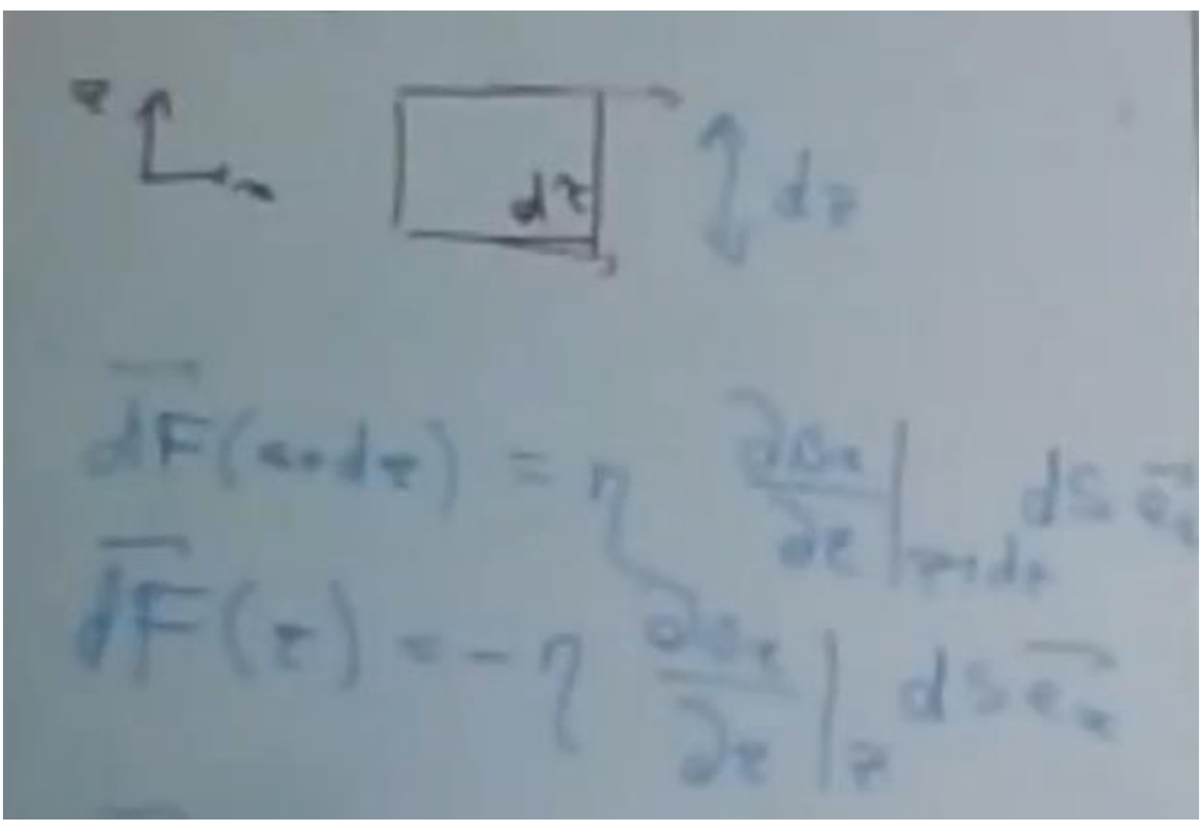
On s ; interesse à une particule de fluide dtau.

On garde le même profil de vitesse <u>**qui correspond à un écoulement incompressible**</u> (div(v) = 0).

On peut écrire une force tangentielle dans la partie superieure de la particule fluide et dans sa partie inférieure.



Alors, si on écrit la force subie en haut et en bas en utilisant l'expression établie avant :



(dans les derivées ce sont bien des vx), la hauteur de la particule fluide est dz.

On fait ensuite la somme des 2 contributions :

$$d\vec{F}_i = \eta \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) \frac{dz\, dS\, \vec{e}_x}{d\tau}$$

(voir dunod PC/PC* 292-293, il y a aussi un passage qui parle des fluides newtoniens).

Ceci est vrai pour un cas particulier ou la vitesse est sur une seule diréction. C résultat se généralise en 3 dimensions pour tout fluide incompressible :

$$\boxed{\vec{F}_v = \eta \Delta \vec{v}}$$

Comment comprendre ce résultat à l'échelle microscopique ?

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 ?

(page wikipedia https://fr.wikipedia.org/wiki/Viscosit%C3%A9#Viscosit%C3%A9_des_liquides)

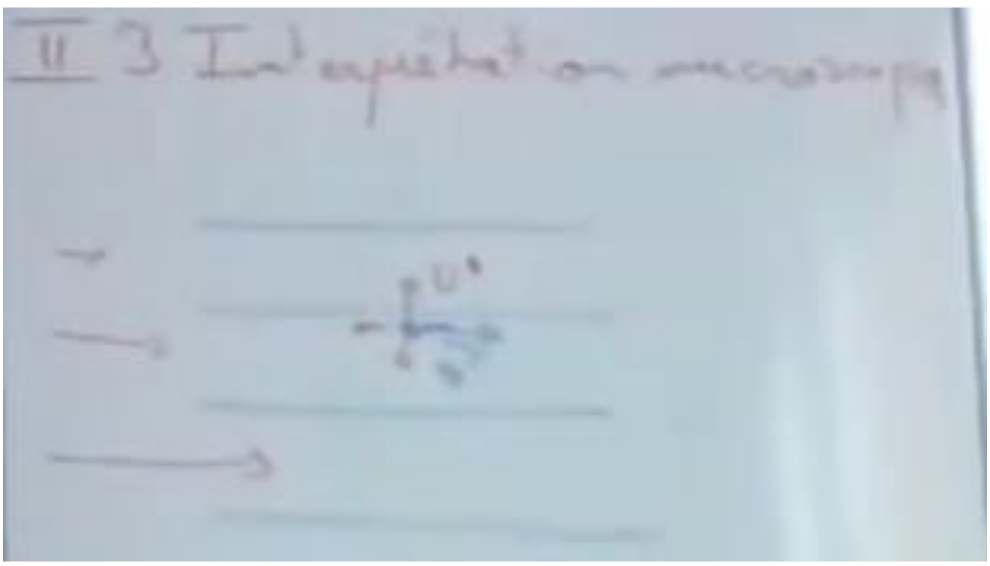
On considère un écoulement laminaire d'un **gaz**, les couches de fluide glissent les unes sur les autres et les intéractions entre particules sont faibles.

Rq écoulement laminaire : (écoulement régulier d'un fluide selond diverses couches qui ne s'interpennetrent pas et évoluent en restant parllèles, peu d'intérations ayant lieu entre leur constituants).

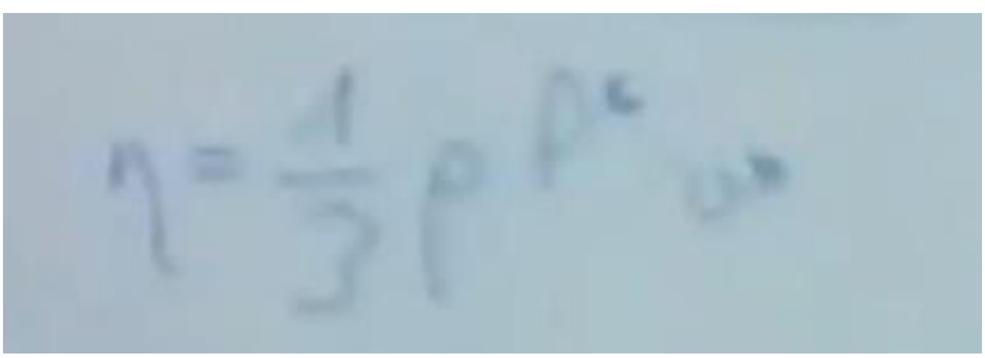
On maintient le profil inhomogène de vitesse selon **ez**. Et on s'interesse à une petite particule de fluide.

Du fait de sa position dans l'écoulement il aura une vitesse moyenne égale à celle de la couche de l'écoulement ou elle évolue, mais aussi, du fai de l'agitation thermique, elle aura une composante qui peut être décomposé dans n'importe quelle diréction de l'espace. La norme de cette composante est proportionelle à la vitesse quadratique moyenne du à l'agitaton thermique.

Si la particule passe dans une nouvelle couche du gaz, elle emmenera avec elle sa quantité de mouvement qui est dfférente de celle des autres particules de la nouvelle couche de gaz. C'est le caractère diffusif de la viscosité.



Un calcul complet de la viscosité dynamique dans un gaz a la forme :

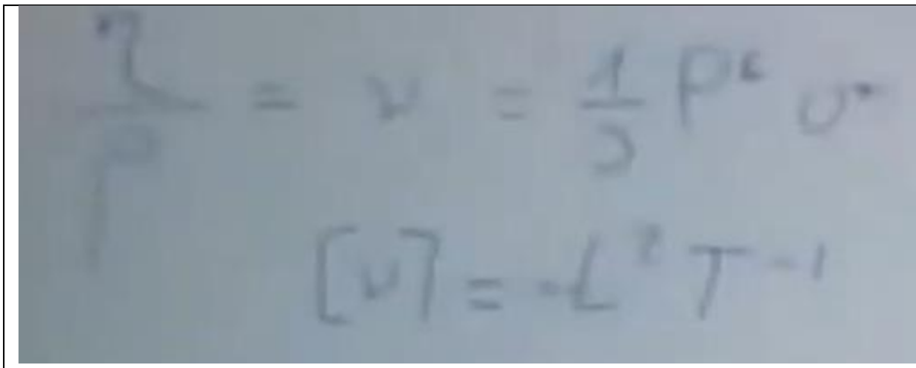


(les 2 exposants sont au carré). l est le libre parcours moyen, il intervient car entre deux chocs il faut que la particule change de couche de fluide.

Si T augmente, la vitesse quadratique moyenne augmente aussi, (théorème de l'équipartition, garder ça pour nous). Donc **POUR UN GAZ**, la viscosité dynamique augmente avec la température.

Pour un liquide par contre la viscosité dynamique diminue avec T. Dans le modèle que nous avons presenté, nous avons négligé les intéractions entre particule ce qui est completement faux pour un liquide. C'est normal que le modèle ne s'applique pas.

Si on divise éta par la masse volumique, on obtient un coefficient qui ets hmogène à un coefficient de diffusion. <u>**On introduit nu, viscosité cinématique**</u>.



On appuye sur le fait que la viscosité donne naissance à des processus diffusifs (d'énergie).

[13 min]

Quel influence de la viscosité dans les écoulement 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 newtownien compte tenu de la forme supposée pour la force volumique de viscosité.

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

5

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.

Hypothèses pour navier stokes (les rappeler) :
- écoulement incompressible (pour utiliser l'expression des forces volummiques de viscosité)
- Fluide newtonien (expression simple de éta)

On considère une particule fluide de volume dtau.
- dans un fluide de viscosité éta
- on prend en compte des eventuelles forces de pression dans l'écoulement
- pour être généraux, on ajoute une résultate d'autres forces volumique fv

On applique le PFD à la particule de fluide. Comme nous l'avons vu précédemment, on utilise alors la derivée particulaire. Alors :

$$\rho \cancel{d\tau}\, \vec{a} = -\overrightarrow{\text{grad}}\, P + \eta \Delta \vec{v} + \vec{f_v} \cancel{d\tau}$$

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}})\vec{v} \right) = -\overrightarrow{\text{grad}}\, P + \eta \Delta \vec{v} + \vec{f_v}$$

On arrive donc à Navier Stokes qui permet de décrire les écoulements visqueux.

- Le therme dv/dt est un therme instationaire (dependence en temps)
- Le therme en vgrad est un transport convectif de quantité de mouvement, liée à l'agitation du milieu
- On reconnait aussi les forces volumiques de pression, et la résultante des autres forces.
- De plus on reconait les forces volumiques visqueuses qui corresondent à un therme diffusif.

Cette equation est compliqué à résoudre, nottament à cause du laplacien et le therme en vgard. Nous allons donc essayer de négliger l'un de ces thermes aussi souvent que possible dans les écoulements que nous allons étudier..

La question qui se pose est, comment on sait quand on peut négliger le therme convectif ou les forces volumiques visqueuses ?

Rq, si on meglige pression et autres:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \underbrace{-(\vec{v}\cdot\overrightarrow{grad})\vec{v}}_{\text{convection}} + \underbrace{\nu \Delta \vec{v}}_{\text{diffusif}}$$

rq : si on ommet le therme convectif on retrouve une équation de diffusion de quantité de mouvement !

On fait le rapport entre les thermes convectofs et diffusifs. On fait ensuite une analyse dimensionelle et on remplace les thermes par des valeurs caracteristiques de l'écoulement :

$$R_e = \frac{\|(\vec{v}\cdot\overrightarrow{grad})\vec{v}\|}{\|\nu\Delta\vec{v}\|} = \frac{U^2/L}{\nu\, U/L^2}$$

$$R_e = \frac{UL}{\nu}$$

On introduit le nombre de Raynolds. Il est utilisé pour savoir si on a des écoulements turbulents ou laminaires selon ce qui domine est le therme diffusif dans l'écoulement ou le therme convectif.

Montrer video : https://www.youtube.com/watch?v=eD7LdS6bfOQ

Si la convection est negligeable devant la diffusion (Re<<<1) alors écoulement laminaire et vice-versa.

On peut aussi interpréter le nombre de raynolds comme le rapport de deux temps caracteristiques, de diffusion et des phénomènes de convenction

$$R_e = \frac{\tau_{diffusion}}{\tau_{convection}} = \frac{L^2/\nu}{L/U} = \frac{UL}{\nu}$$

Pour résoudre l'équation, même si on la simplifie, il nous faut des conditions limites. Nous allons le mettre en évidence dans un cas particulier.

1.1.2.2 Conditions aux limites

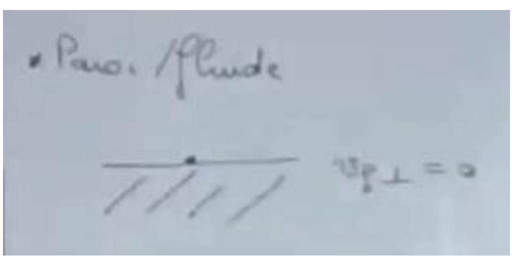
Suivre [Rab19] p25, les explications sont un peu plus poussées que dans [SVSC16].

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.

On s'interesse à une paroi solide immobile en contact avec un fluide qui possède une viscosité non nulle.

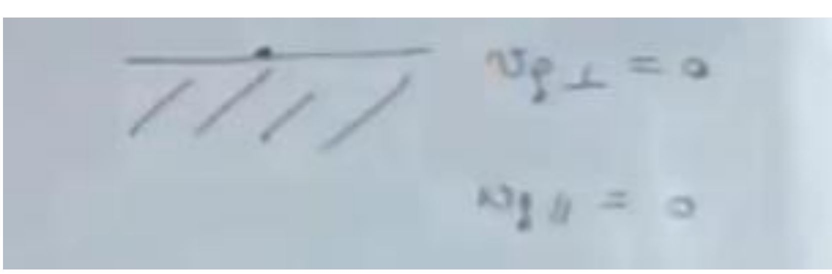


On commence par s'interesser à la composante normale à la surface. On suppose que le matériau n'est pas poreux. Alors le fluide ne peut pas rentrer dans la paroi.

Ceci ce traduit, par continuité que la composante normale de la vitesse de l'écoulement au niveau de la paroi soit nulle.

Nous avons vu que les forces de viscosité resultent des forces tangentielles entre les surfaces des couches de fluide. Ceci est aussi vrai pour l'interface paroi-fluide. Alors comme la paroi est immobile, la force tangentielle exercée à la surface de la paroi va arrêter momentanement les particules de fluide. C'est comme si les particules de fluide restait accroché aux rugosités de la paroi.

Alors la vitesse tangentielle de l'écoulement au niveau de la paroi est aussi nul.



Si la paroi est mobile, les particules de fluide au niveau de la paroi vont la suivre dans son mouvement. On conclu alors que :

$$\vec{v}_f = \vec{v}_p$$

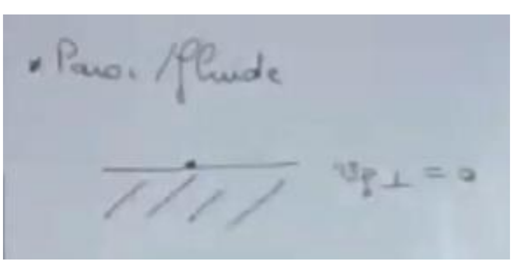
En terme de contraintes on déduit :

$$\eta \frac{\partial v_x}{\partial z} = \sigma$$

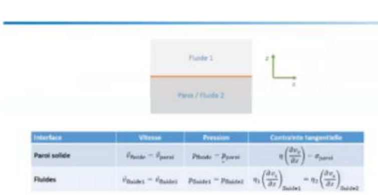
Où sigma est la contrainte tangentielle exercée par la paroi, et la pression exercée par la paroi sur le fluide est la même que celle qui exerce le fluide sur la paroi.

Au niveau de la paroi.

Attention, si l'ecoulement est non visqueux, il y a aucune raison de considerer que les particules de fluide vont s'accrocher à la paroi, alors la seule chose qu'on peut conclure c'est la non pénétration du fluide.



Montrer slide 3 pour résumer la situaton. Le raisonnement de la force tangentielle s'applique aussi à une interface paroi-paroi (par contre selon l''ecoulement on peut avoir pénétration).



On a tous les outils nécessaires pour étudier la dynamique d'écoulements visqueu. Nous allons maintenant regarder un problème partculier, l'écoulement de poiseuille. [**21 :45**]

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.

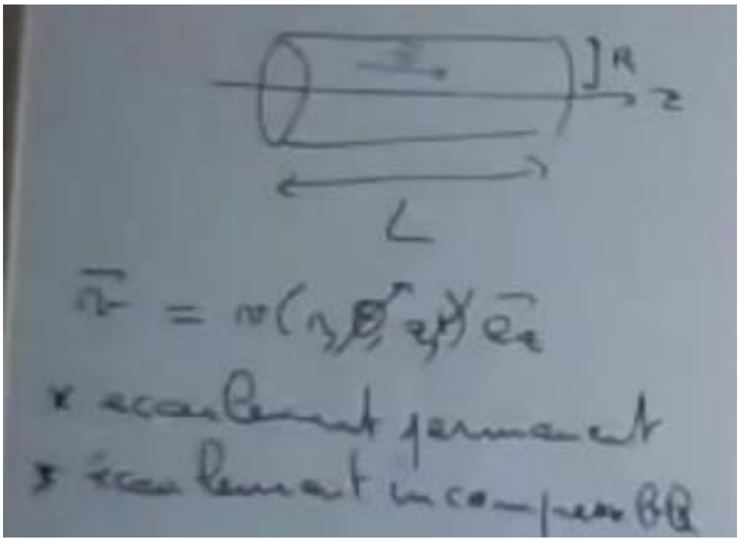
Écoulement de Poiseuille. Juste une idée, elle est pénible à installer mais bon.

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.

On s'interesse à unde conduite cylindrique de rayon R, longueur L et d'axe **ez**.

HYP :
- vitesse du fuide drigé que selon ez.
- Symétrie cylindrique, donc independant de téta
- régime stationnaire de l'écoulement (v ne depend pas de t)
- fluide newtonien
- écoulement incompressible
- conduite horizontale, r suffisament petit popur négliger la gravité



Si on s interesse à la conservation du débit, on conclu que la vitesse ne dépend pas de z.

Donc v(r)**ez**.

Pour la pression, à prori elle depend de r et de z (régime stationnaire donc pas de dependance en t).

On s'interesse alors aux thermes de l''equation de navier stokes :

dv/dt = 0

(v.grad)v s'écrit **SLIDE**, et on montre alor qu'il est nul.

Lors l'équation de Navier Stokes s'écrit :

$$\vec{0} = -\overrightarrow{grad}P + \eta\Delta\vec{v}$$

On projette alors selon **er**.

Pas de composante de vitesse selon **er**, donc :

• Selon $\vec{e}_r$

$$0 = -\frac{\partial P}{\partial r} \qquad P = p(z)$$

P ne depend que de z.

On rojette selon **ez**.

Rq, le laplacien cylndrique est aussi une monstruosité :

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\Delta A} = & \left(\frac{\partial^2 A^r}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 A^r}{\partial\theta^2} + \frac{\partial^2 A^r}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial A^r}{\partial r} - \frac{2}{r^2}\frac{\partial A^\theta}{\partial\theta} - \frac{A^r}{r^2}\right)\boldsymbol{u}_r \\ & + \left(\frac{\partial^2 A^\theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 A^\theta}{\partial\theta^2} + \frac{\partial^2 A^\theta}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial A^\theta}{\partial r} + \frac{2}{r^2}\frac{\partial A^r}{\partial\theta} - \frac{A^\theta}{r^2}\right)\boldsymbol{u}_\theta \\ & + \left(\frac{\partial^2 A^z}{\partial z^2} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 A^z}{\partial\theta^2} + \frac{\partial^2 A^z}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial A^z}{\partial r}\right)\boldsymbol{u}_z\end{aligned}$$

Heureusement on s'interesse que a la coordonnée vz qui depend de r, donc deux derniers thermes

$$0 = -\frac{dP}{dz} + \eta \frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r \frac{dv_z}{dr}\right)$$

O a des derivées par raport à z et r, et une égalité qui est vrai pour tout r et z.

Donc on déduit que

$$\frac{dP}{dz} = C \Rightarrow P(z) - P(0) = Cz$$

En particulier :

$$P(L) - P(0) = CL$$

De même :

$$\frac{d}{dr}\left(r \frac{dv}{dr}\right) = \frac{Cr}{\eta}$$

$$r\frac{dv}{dr} = \frac{Cr^2}{2\eta} + D$$

Avec D une constante d’intégration

On fait passer r de l’autre coté

$$\frac{dv}{dr} = \frac{Cr}{2\eta} + \frac{D}{r}$$

(refaire le calcul car les notes confondent éta, r et 2).

Or le therme en D diverge quand r = 0 (centre de la conduite, donc forcément il est nul).

On integre une deuxième fois :

$$v_z(r) = \frac{C r^2}{4\eta} + E$$

Cette constante d'intégration on la trouve avec les conditions limites.

Vz(R) est nulle car la conduite est immobile et l'écoulement est visqueux (égalité des vitesses tangentielles à la paroi).

On trouve alors :

$$v_z(r) = \frac{C}{4\eta}\left(r^2 - R^2\right)$$

On connait déjà la constante C grace à l'équation de la différence de pression aux bouts de la conduite.

On trouve alors :

$$v_z(r) = \frac{C(p_0 - p_L)}{4\eta L}\left(R^2 - r^2\right)$$

ATTENTION, LE C EST EN TROP ET ON A INVERSÉ LE R-r ET LE P0-PL

ON retrouve un profil parabolique en vitesse (montrer une slide, ou une video pour montrer le profil de l''ecoulement.)

https://www.youtube.com/watch?v=BMgRU2luWMg&feature=youtu.be

rq. On peut monter aussi la réversibilité des équations avec la video. Ça peut être une bonne façond d'introduire les notions de fluides très visqueux ou on est reversible. Lire le poly de cours sur les écoulements revrsibles et regarder si on ne peut pas en parler un peu. Ça peut être très interesssant.

On a forcement une baisse de pression à la sortie de la conduite par rapport à l'entrée. Ceci est liée au caraactère dissipatif des forces de visosité.

Se reinseigner rapidement sur le viscosimètre qu marche avec l'écoulement de Poiseuille.

Rq. La dissipation ce traduit par l'échauffement du fluide (partout ou il y a un gradient de vitesses) et l'échauffement de la paroi. On dissipe de l'énergie car l''energie du système est lié à l''energie ciétique du fluide mais aussi au travail des forces de pression. Le fait que l'energie liée au travial des forces de pression soit plus faible en sortie de la conduite quand la vtesse du fluide reste constante, montre que il y a eu une dissipation d'énergie.

En mesurant le débit en fonction de la différence de pression dans une canalisation cylindrique nous pouvons estimer alors la viscosité dynamique du fluide.

Attention, lire la remarque sur le raynolds pour cet écoulement dans le scan pdf. [**31 :16**]

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.

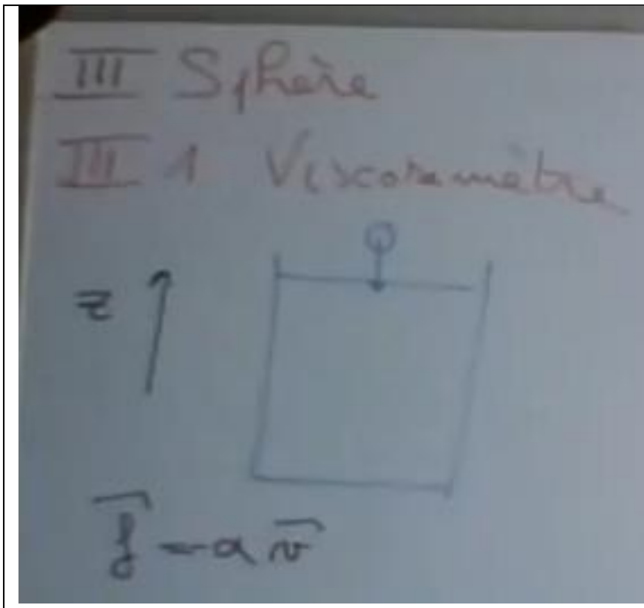
Avoir en tête d'autres méthodes pour déterminer la viscosité d'un fluide :
- viscosimètre à écoulement libre ;
- rhéomètre.

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

On presente un autre viscosimètre, le viscosimètre à chute de bille.

Presenter le schéma expérimental ou une vidéo.

Quand une bille chute dans un fluide on a l'habitude de supposer des forces de frottementf :



On utilise la formule de stokes pour exprimer alpha, elle depend de la viscosité et le rayon R de la bille.

$$\vec{f} = -6\pi \eta R \vec{v}$$

Rq. La formule de stokes nécessite des hypothèse susivantes :
- faible raynolds autour de la bille
- bille sphérique
- loi des interfaces (parois, surface, bas de la cuve)

La bille est aussi soumise à son poid et à la poussé d'archimède égale au volume de fluide déplacé.

$$P = m\vec{g} = \rho_b V \vec{g}$$

$$\Pi_A = -\rho_f V \vec{g}$$

On s'iteresse à la vitessse limite.

On fait le PFD projeté sur la verticale.

$$0 = -6\pi\eta R v_l + (\rho_p - \rho_0) V g$$

Vrai loin des parois.

On peut faire ceci en manip, en mesurant la vitesse limite on peut remonter la viscosité.

Rq. Pour des billes de masse volumique identique, c'est la plus petite bille qui atteint la vitesse limite le plus rapidement. Quand on atteint la vitesse limite, on égalise les forces de frottement et le poid corrigé (avec la poussé d'archimède). Or le poid corrigé est en début de chute plus important que les forces de frottement. Les forces de frottement varient en R tandis que la difference de dentisté varie en R^3 (V). Faire diminuer le rayon de la bille diminue alors la différence entre les deux thermes. En pratique ça depend aussi de comment on lache la bille.

L'expression simple des dorces de viscosité n'est pas général, elle depend du regime turbulent ou laminaire.

Suivant le nombre de Raynolds on peut avour une force de trainée. Ceci n'as pas été traitée mais le garder en tête et le lire au cas où. Nous avons aussi un TD la dessus.

Questions posées par l'enseignant

Commentaires donnés par l'enseignant

Partie réservée au correcteur