**Titre** : Viscosité et écoulement visqueux

**Présentée par** : **Rapport écrit par** :

**Correcteur** : **Date** :

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

|  |
| --- |
| **Plan détaillé** |
| Cinématique des fluides c’est simplement que on utilise la derivée particulaire et non la derivée absolue pour la particule fluide0    <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.**    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.    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 **qui correspond à un écoulement incompressible** (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 :    (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 :    Comment comprendre ce résultat à l’échelle microscopique ?    (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. **On introduit nu, viscosité cinématique**.    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 ?    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 :    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:*    *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 :    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    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.    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 :    En terme de contraintes on déduit :    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**]    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 :    On projette alors selon **er**.  Pas de composante de vitesse selon **er**, donc :    P ne depend que de z.  On rojette selon **ez**.  Rq, le laplacien cylndrique est aussi une monstruosité :    Heureusement on s’interesse que a la coordonnée vz qui depend de r, donc deux derniers thermes    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    En particulier :    De même :    Avec D une constante d’intégration  On fait passer r de l’autre coté    (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 :    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 :    On connait déjà la constante C grace à l’équation de la différence de pression aux bouts de la conduite.  On trouve alors :    **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**]    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.    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.      On s’iteresse à la vitessse limite.  On fait le PFD projeté sur la verticale.    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** |
|  |