

14-M- Fluides

Intro : Intro : Substance sans forme propre qui est susceptible de s'écouler sous l'influence d'une force

Transition : On utilise souvent la loi des gaz parfaits et celle de l'hydrostatique nous allons les vérifier dans un premier temps puis nous étudierons la dynamique des fluides

I. Statique des fluides

1 - Boyle-Marriote : (gaz) Modèle du fluide parfait. Calcul de R (**quantitatif : Bellier agreg p 372**)

2 - Vérification de la loi de l'hydrostatique ? (Liquide) (**quantitatif: Bellier agreg p 366**)

II. Dynamique des fluides :

1) Viscosimètre à bille : Chute glycérol. Viscosité dynamique du fluide. (**quantitatif : Tec et doc BCPST 2^{ème} année p 504**) (**Incertitude de type A avec webcam**)

Evaluer le nombre de Reynolds pour la validité de la formule de Stokes ($R_e < 1$)

2) Vase de Mariotte : Poiseuille. (**quantitatif : Tec et doc BCPST 2^{ème} année p 504**)

Ré-utiliser la formule de l'hydrostatique pour la pression dans le vase de Mariotte

-Vérifier qu'on a bien un écoulement laminaire ($Re < 2000$)

3) Sonde Pitot :

- expérience soufflerie avec sonde Pitot pour mesure de la vitesse (**Qualitatif**)

Avec la différence de pression, on remonte à la mesure de la vitesse de l'écoulement de l'air

Conclusion : Expérience de la poix. La limite entre solide et fluide hypervisqueux est parfois difficile à fixer. 10 ans par goutte.

On a pas parlé des phénomènes de capillarité avec la loi de Laplace et les phénomènes de tension superficielle. (Manip si on a la foi)

3) Mesure de C_x :

- $f_{trainée} (résistance de l'air) = \frac{1}{2} C_x \rho_{air} S v^2$ (quand tu un grand nombre de Reynolds $f = -\alpha v^2$)

- S avec la surface de l'objet et ρ_{air} , la force de trainée est donnée par le dispositif

Remarque : si on utilise une aile d'avion, on aura le C_z (coef de portance) avec la même formule en remplaçant $f_{trainée} (résistance de l'air)$ par la force de portance

1) Viscosimètre à bille : Chute glycérol. Viscosité dynamique du fluide. (quantitatif : Tec et doc BCPST 2^{ème} année p 504) (Incertitude de type A avec webcam)

Evaluer le nombre de Reynolds pour la validité de la formule de Stokes ($R_e < 1$)

Faire la vidéo avec cinéris (voir vidéo).

Aller dans tableau et copier les valeurs puis aller dans Regressi (fichier -> nouveau -> presse papier . Et il rentre les valeurs de cinéris.

Pour les incertitudes sur le diamètre de la bille, prendre $\frac{r}{\sqrt{3}}$ on suppose la distribution triangulaire.

Sur regressi il faut taper $r/\sqrt{3}$.

Pente min et max pour avoir la vitesse.

I. Statique des fluides

1 - Boyle-Marriote : (gaz) Modèle du fluide parfait. Calcul de R (quantitatif : Bellier agreg p 372)

La modélisation précédente a permis de déterminer la valeur d'une constante a , avec $p \cdot v = a$ et donc $a = n \cdot R \cdot T$ (avec $T = T_{\text{ini}}$).
Pour déterminer R , il faut évaluer le nombre n de moles de gaz enfermé dans la seringue et le tuyau souple au départ, c'est à dire dans un volume initial V_{ini} avec $V_{\text{ini}} = 20 + V_{\text{tuyau}}$ (en cm^3).
Pour une température T_0 de 273 K, une pression P_0 de 1 013 hPa et un volume molaire V_0 de 22 400 cm^3 , le nombre de moles n_0 est de 1 (conditions normales).
Pour calculer le nombre de moles dans le volume V_{ini} à la pression P_{ini} et à la température T_{ini} , écrivons deux fois la relation des gaz parfaits :

$$P_0 \cdot V_0 = 1 \cdot R \cdot T_0$$
$$P_{\text{ini}} \cdot V_{\text{ini}} = n \cdot R \cdot T_{\text{ini}}$$

En faisant le rapport il vient $n = \frac{P_{\text{ini}}}{P_0} \cdot \frac{V_{\text{ini}}}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_{\text{ini}}} = \frac{1}{R} \times \frac{P_{\text{ini}} \cdot V_{\text{ini}}}{T_{\text{ini}}}$

Calculer n avec les données expérimentales et en déduire la constante des gaz parfaits $R = \frac{a}{n \cdot T_{\text{ini}}}$. Comparer avec la valeur communément admise $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

2- Vérification de la loi de l'hydrostatique - (Liquide) (quantitatif: Bellier agreg p 366)

II. Dynamique des fluides :

1) Viscosimètre à bille : Chute glycérol. Viscosité dynamique du fluide. (quantitatif : Tec et doc BCPST 2^{ème} année p 504) (Incertitude de type A avec webcam)

Evaluer le nombre de Reynolds pour la validité de la formule de Stokes ($Re < 1$)

2) Vase de Mariotte : Poiseuille. (quantitatif : Tec et doc BCPST 2^{ème} année p 504)

Ré-utiliser la formule de l'hydrostatique pour la pression dans le vase de Mariotte

-Vérifier qu'on a bien un écoulement laminaire ($Re < 2000$)

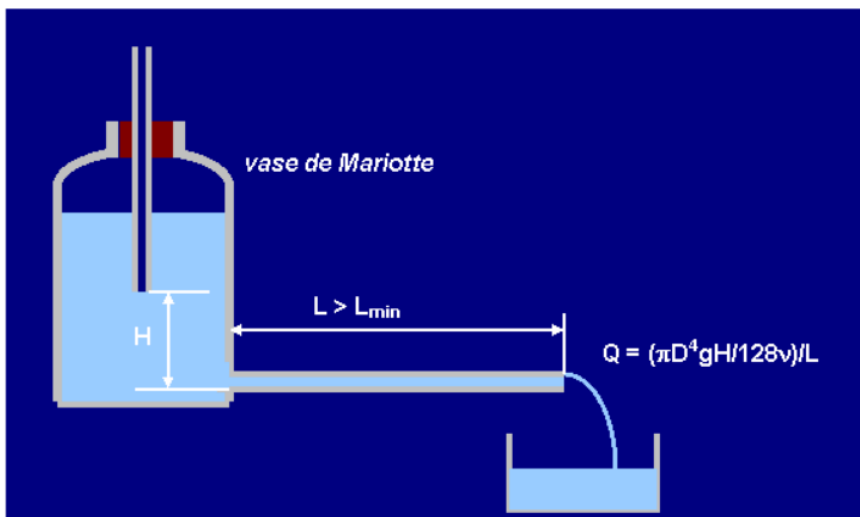
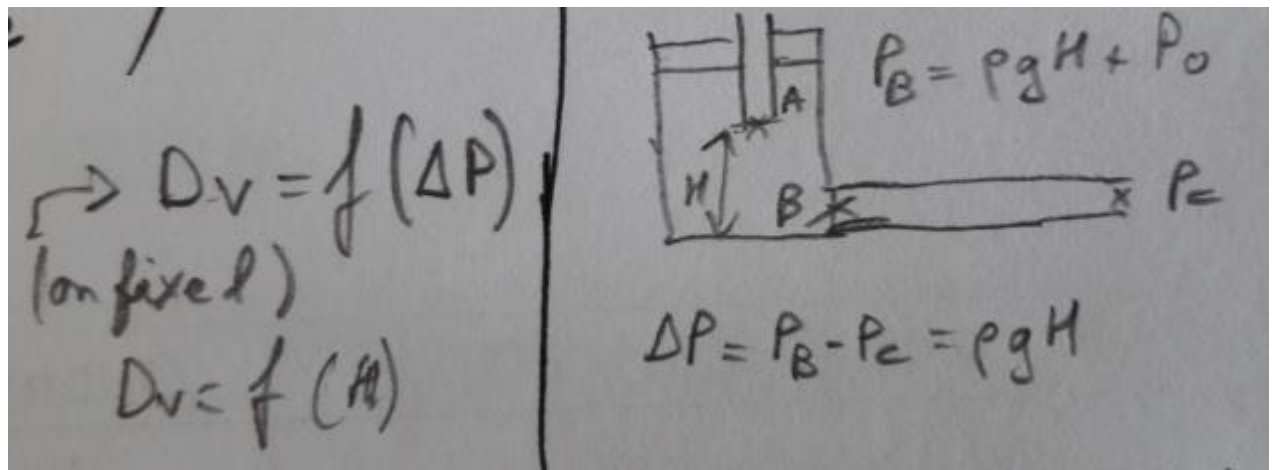


figure 2 – vérification de la loi de Poiseuille avec un vase de Mariotte



On utilise un vase de Mariotte afin d'avoir débit volumique constant.

Dans le dispositif il ne faut pas faire varier L car risque de fuite.

Mais plutôt faire varier ΔP et à la fin s'assurer qu'on a bien un écoulement laminaire en calculant le nombre de Reynolds.

Application du vase de Mariotte à la vérification expérimentale de la loi de Poiseuille

Pour vérifier la loi de Poiseuille (6) il faut maîtriser la charge ΔP qui produit le mouvement du fluide. Cela peut se faire avec un vase de Mariotte dans lequel on fixe la hauteur de chute H telle que $\Delta P = \rho g H$. Pour mettre en oeuvre l'expérience il faut modifier la sortie du récipient de telle sorte que la loi de Poiseuille soit applicable, c'est-à-dire que le nombre de Reynolds Re soit inférieur à sa valeur critique R_c . Aussi, au lieu d'utiliser un ajutage court, on utilisera un tube horizontal de sortie, de section $s = \pi D^2/4$ (D : diamètre du tube), et de longueur L (figure 2), avec une vitesse de sortie v telles que :

$$Re = vD / \nu < R_c = 2400$$

Le débit dans le tube devant être celui d'un écoulement de Poiseuille donné par (6), quelle doit être alors la longueur minimale du tube pour que le nombre de Reynolds soit plus petit que R_c ? Réponse :

On a $Q = sv = v\pi D^2/4$ donné par (6), d'où la vitesse dans le tube :

$$v = \frac{gHD^2}{32\nu L}$$

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{gHD^3}{32\nu^2 L}$$

Le nombre de Reynolds du tube doit être inférieur à $R_c = 2400$, par conséquent la longueur du tube doit être plus grande que :

$$L_{\min} = \frac{gHD^3}{32\nu^2 R_c} \quad (19)$$

Exemple : avec une hauteur de chute $H = 5$ cm et un diamètre du tube $D = 4$ mm, le tube doit avoir une longueur minimale de 41 cm si l'on veut un écoulement laminaire de Poiseuille à l'intérieur.

Une fois cette condition assurée, la vérification de la loi de Poiseuille ne pose pas de difficultés : on mesure le débit volumique Q en sortie du tube au moyen d'une éprouvette graduée et d'un chronomètre, et on trace la courbe $Q = f(1/L)$ qui doit être une droite de pente égale à :

$$\frac{\pi D^4 g H}{128 \nu}$$

3) Sonde Pitot :

- expérience soufflerie avec sonde Pitot pour mesure de la vitesse (**Qualitatif**)

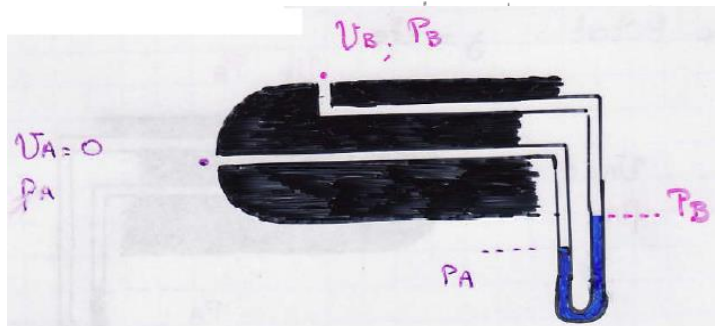
Avec la différence de pression, on remonte à la mesure de la vitesse de l'écoulement de l'air

Tube de Pitot : On néglige les effets de pesanteur $g = cte$.

$$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z + p = cte$$

$$\Rightarrow \rho p_A = \frac{1}{2} \rho v_B^2 + p_B$$

$$\Rightarrow v_B = \sqrt{\frac{2(p_A - p_B)}{\rho}}$$



Remarque : Les sondes Pitot sont les sondes qui sont montées sur les ailes des avions afin de connaître leur vitesse par rapport à l'air.

Annexe : Nombre de Reynolds

Equation de Navier - Stokes :

$$\rho \left(\underbrace{\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}}_{\text{accélération locale}} + \underbrace{(\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v}}_{\text{convection}} \right) = - \underbrace{\text{grad } P}_{\text{de pression}} + \underbrace{\vec{f}_{\text{vol}}}_{\text{force volumique (ou densité volumique de force)}} + \underbrace{\eta \Delta \vec{v}}_{\text{viscosité}} \quad \left(\text{viscosité dynamique} \right)$$

$\vec{f}_{\text{vol}} = \rho \vec{g}$
 $\text{Flapla} = \vec{\nabla} \cdot \vec{E}$

Le nombre de Reynolds Re permet de comparer l'ordre de grandeur correspondant au transport convectif de la quantité de mv^t (particule entraînée par le mv^t des autres) : $\rho \| (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \|$ et celui correspondant au transport diffusif (molecule libre de bouger par rapport aux autres suivant la viscosité, exemple parfum) : $\eta \| \Delta \vec{v} \|$

$$Re = \frac{\text{terme convectif}}{\text{terme diffusif (visqueux)}} = \frac{\rho \| (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \|}{\eta \| \Delta \vec{v} \|} = \text{en prenant ordre de grandeur} = \frac{\rho \times \frac{\text{vitesse} \times \text{vitesse}}{\text{distance}}}{\eta \frac{\text{vitesse}}{(\text{distance})^2}} = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta}$$

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \dots$

$$Re = \rho \frac{v D}{\eta} \quad \text{avec } v : \text{vitesse moyenne}$$

D : longueur de référence (diamètre pour une bille) -

ou $Re = \frac{v D}{\nu}$ avec ν : viscosité cinématique ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) = $\frac{\eta}{\rho}$ → viscosité dynamique en Poiseuille ($\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$)

faible Re écoulement laminaire



$Re > 2000$ écoulement turbulent.

