

# MP3 : Dynamique des fluides

Damien RIOU

16 janvier 2015

## Objectifs

- Déterminer la viscosité dynamique d'un fluide
- Utiliser le nombre de Reynolds
- Appliquer la formule de Torricelli, ainsi que la relation de Bernoulli
- Mettre en évidence et interpréter l'effet Venturi
- Faire voler une aile dans un flux d'air

## Plan

### Introduction

Les fluides en mouvements sont partout dans notre quotidien. Pour nous en rendre compte, il suffit de prendre un exemple : notre atmosphère est ni plus ni moins qu'un fluide en perpétuel mouvement. Dans ce montage, je vous propose d'étudier un écoulement visqueux et des écoulements parfaits. Nous calculerons le nombre de Reynolds pour définir dans quel domaine nous nous trouverons.

### A Écoulement visqueux

Définition d'un écoulement visqueux : le nombre de Reynolds doit être inférieur à 1. Il est calculable grâce à la formule suivante :

$$Re = \frac{\rho dv}{\eta}$$

La force de traînée est souvent difficile à estimer. Malgré tout, si un écoulement est visqueux, la force de traînée peut être calculée par la formule de Stokes, une formule donnant la force de traînée comme étant proportionnelle à la vitesse :

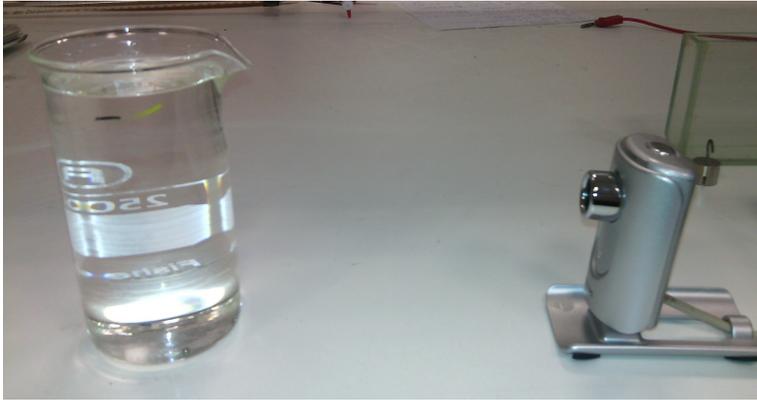
$$\vec{F} = -6\pi\eta r \vec{v}$$

L'exemple typique de l'écoulement visqueux est la chute d'une bille dans du glycol. Les conditions opératoires sont choisies afin de conserver un nombre de Reynolds inférieur à 1. Nous pouvons alors faire le bilan des forces appliquées à la bille, et nous constatons qu'en régime stationnaire, cette bille va voyager à vitesse constante.

Une fois cette vitesse constante mesurée par la , nous pouvons en déduire la viscosité du fluide :

$$\eta = \frac{(\rho_{solide} - \rho_{liquide})gV}{6\pi r v_{limite}}$$

La mesure se fait grâce à une caméra et un bêcher de glycérol.



Le nombre de Reynolds - calculé après mesure de la vitesse limite de la chute de la bille, calculé la viscosité théorique - est trouvé comme étant effectivement inférieur, justifiant l'utilisation de la loi de Stokes pour le calcul de la force de traînée.

La comparaison de la viscosité dynamique du glycérol calculée et tabulée doit être effectuée à des températures identiques. En effet, la viscosité du glycérol varie très fortement aux alentours de 20°C, il est donc important de faire une mesure précise de la température.

## B Analyse d'écoulements parfaits

### B.1 Vidange d'un récipient

La description du fluide parfait peut être utilisée pour le fluide lors de la vidange d'un récipient, si trois hypothèses sont considérées :

- La surface libre supérieure du fluide est grande devant la surface de l'orifice de sortie du jet ;
- Le fluide est incompressible et parfait ;
- Le régime de vidange est stationnaire.

Si nous considérons une ligne de courant allant de la surface libre supérieure du fluide à la sortie inférieure, nous retrouvons la formule de Torricelli :

$$v = \sqrt{2gh}$$

A partir de cette formule, nous avons, par intégration, une relation linéaire entre la variation de hauteur de la surface libre et le temps de vidange :

$$\sqrt{h(t)} = \sqrt{h_0} \left( 1 - \frac{s^2}{2h_0} \sqrt{\frac{g}{2h_0}} t \right)$$

Pouvons donc comparer la vidange expérimentale et la vidange simulée à partir de la relation précédente et des données physiques du problème.



Il y a une bonne corrélation entre l'expérience et le résultat théorique.

## B.2 Effet Venturi

L'effet Venturi est une conséquence directe de la loi de Bernoulli. Dans une canalisation, lors du resserment de celle-ci, la vitesse du fluide augmente et la pression diminue - ou inversement lors de l'élargissement de celle-ci, la vitesse diminue et la pression augmente. Par contre, en toutes circonstances, le débit volumique est conservé.

Nous avons donc :

$$P + 1/2\rho_{fluide}v^2 = cte$$

$$Q_v = vS = cte'$$

Nous avons donc :

$$P = 1/2\rho_{fluide} \frac{Q_v^2}{S^2}$$

La pression dans la canalisation est mesurable grâce à la hauteur d'eau aspirée dans un tube :

$$P = \rho_{eau}gh$$

Pour chaque tube, nous mesurons la section de la canalisation et la hauteur d'eau dans le tube lorsque l'écoulement est stabilisé. Nous observons que plus la section est petite, plus la pression est faible, plus la hauteur d'eau est importante.

Nous pouvons alors tracer :

$$P = f\left(\frac{1}{S^2}\right) = \rho_{eau}gh = 1/2\rho_{fluide} \frac{Q_v^2}{S^2}$$

En notant  $\alpha$  le coefficient directeur de la droite obtenue, nous avons :

$$Q_v = \sqrt{-2\alpha/\rho_{air}}$$

Nous pouvons alors calculer le débit d'air à l'intérieur de la canalisation. Ce résultat est à mettre en comparaison avec la mesure de la vitesse du fluide qui peut être obtenue en sortie de la canalisation.

## C Etude d'une aile plongée dans un flux d'air

Pour étudier la capacité d'une aile à voler, on peut la placer dans une soufflerie, puis mesurer la portance  $P$  et la traînée  $T$ . Nous supposons la vitesse du flux d'air constante. Nous pouvons ensuite calculer les coefficients suivants :

$$C_x = \frac{2T}{v^2\rho S}$$

$$C_z = \frac{2P}{v^2\rho S}$$

Ce sont les coefficients de traînée verticaux et horizontaux. Nous calculons ces valeurs à partir de des valeurs de la portance et de la traînée en fonction de l'angle d'attaque  $\alpha$ . L'obtention de ces coefficients permet de calculer la finesse de l'aile :

$$F = \frac{C_z}{C_x} = f(\alpha)$$

Nous pouvons regrouper les informations obtenues dans le tableau suivant :

	$C_x$	$C_z$	$F$
$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$	Le coefficient est faible, l'aile n'oppose qu'une faible résistance au déplacement.	Il augmente au fur et à mesure jusqu'à une valeur maximale aux alentours de $15^\circ$ .	La finesse augmente au fur et à mesure jusqu'à une valeur maximale aux alentours de $15^\circ$ . A cette valeur d'angle, l'avion va se mettre à décrocher.
$15^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	La valeur du coefficient croît progressivement.	Il diminue jusqu'à atteindre une valeur environ nulle.	La finesse diminue progressivement.

## Conclusion

Nous avons pu voir durant ce montage deux types d'écoulements, un où la viscosité gouverne la vitesse de chute de la bille, puis un autre où les effets convectifs prennent le pas sur les effets visqueux. Dans ce dernier cas, la formule de Bernoulli est applicable, et nous avons même poussé le raisonnement jusqu'à l'étude des ailes d'avions.

## Bibliographie

- [1] Dictionnaire de physique expérimentale, tome 1, L. Quaranta
- [2] Mécanique des fluides et des ondes mécaniques, JP. Faroux, J. Renault, Dunod
- [3] Physique expérimentale pour les concours de l'enseignement, JP. Bellier, Dunod
- [4] Hydrodynamique physique, E. Guyon, EDP Sciences