

# MP03 - DYNAMIQUE DES FLUIDES

Laribi Elias  
5 février 2016

## Bibliographie :

*Hydrodynamique physique*, **Guyon, Hulin, Petit** (pour la théorie)

*Dictionnaire de physique expérimentale, Mécanique Tome I*, **Quaranta** (pour les manip)  
*Handbook*

## Expériences :

- Viscosimètre à bille
- Ecoulement de Poiseuille
- Tube de Pitot
- Force de traînée en soufflerie

Introduction

I/ Viscosimètre à bille :

II/ Ecoulement de Poiseuille :

III/ Ecoulements en soufflerie :

- 1) Tube de Pitot :
- 2) Force de traînée :

Conclusion

## Introduction :

La mécanique des fluides est une branche importante de la physique. Elle joue un rôle clé dans bon nombre d'industries (aéronautique, automobile, ...).

L'équation de Navier-Stokes régit la mécanique des fluides :

Au vu de la complexité de cette équation non linéaire, le point de vu choisi pour le montage est alors d'illustrer différents régimes limites pour lesquels il est possible de la simplifier :

- Régime visqueux pour lequel le terme inertiel disparaît (écoulement de Stokes): soit à bas Reynolds ( $Re = \frac{\text{terme inertiel}}{\text{terme visqueux}} \ll 1$ ) comme dans l'expérience du viscosimètre à bille (expérience 1), soit par géométrie dans le cas par exemple d'un écoulement de type Poiseuille pour lequel  $(\mathbf{v} \cdot \mathbf{grad})\mathbf{v} = \mathbf{0}$  (expérience 2)

- Régime inertiel pour lequel le terme visqueux est négligeable (écoulement parfait), c'est-à-dire à haut Reynolds : Expérience en soufflerie (expérience 3).

Ainsi la donnée du nombre de Reynolds, rapport entre le terme convectif et le terme diffusif de l'équation de Navier-Stokes apparaît comme une donnée fondamentale de l'écoulement.

Nous allons pour commencer nous intéresser au cas d'un écoulement où la viscosité prédomine largement c'est-à-dire où  $Re \ll 1$ .

### 1) Viscosimètre à bille :

GHP, Hydrodynamique physique p.448

L'expérience consiste à mesurer la vitesse de chute de différentes billes calibrées dans un fluide visqueux – le rothitherme – qu'on utilise préférentiellement au glycérol car sa viscosité est moins fluctuante.

On suppose que les billes sont soumises à la force de Stokes calculé pour  $Re < 1$  que l'on vérifiera. A partir de l'expression de la vitesse limite en fonction du diamètre des billes il est possible de remonter à la viscosité du rothitherme.

#### Expérience 1 :

- Prendre 2 repères en haut et en bas de l'éprouvette assez éloignés des bords et mesurer la distance les séparant.

- Après avoir mesuré le diamètre d'1 bille au Palmer, on mesure son temps de chute.

- On fait la mesure 10 fois pour chaque type de bille. Ainsi pour chaque type de bille, on obtient un rayon moyen ainsi que l'incertitude sur ce rayon qui correspond à l'écart-type de la distribution. On obtient moyen correspondant à chaque type de bille.

### Exploitation :

On trace ensuite en fonction de  $Vl$  et on trouve une viscosité du rothitherme égale à

qu'on peut comparer à la valeur tabulée dans le Handbook à la température de la salle 25°C

### Calcul des incertitudes :

Avec

### Retour sur les hypothèses :

- Formule de Stokes valable à faible nombre de Reynolds  $Re < 1$  :

- Nécessaire de s'assurer que le régime permanent est atteint :  
La durée du régime transitoire s'écrit :

- S'assurer que les effets de bords sont négligeables : Formule Stokes établie pour un fluide infini.  
L'approximation est valable si la taille du récipient  $\gg$  taille des billes

C'est pour cela qu'on prend des points de mesures assez éloignés des parois.

Ce type de régime concerne le mouvement des micro organismes.

Un autre type d'écoulement, par sa géométrie, est régi en régime permanent par l'équation de Stokes : c'est l'écoulement de Poiseuille.

### **2) Ecoulement de Poiseuille :**

GHP p166

Quaranta p.153

Il s'agit de l'écoulement laminaire en régime permanent d'un fluide en écoulement incompressible soumis à un gradient de pression dans un tube cylindrique. L'écoulement présente alors un profil parabolique et la loi donnant accès au débit s'écrit :

Exp érience 2 :

Pour imposer une différence de pression, on utilise un vase de Mariotte. L'intérêt de ce type de dispositif est de pouvoir imposer une différence de pression donnée constante et ce même lorsque le niveau de l'eau dans le vase varie.

La hauteur heau étant difficile à mesurer, on mesure plutôt la hauteur h (cf schéma).  
Comme  $h_{eau} = h + cste$  on peut réécrire Q :

On va essayer d'utiliser cette relation pour remonter à la viscosité de l'eau. Pour cela, on mesure le débit massique en pesant la masse m qui sort du capillaire pendant un temps t :

Alors

On prend  $t = 30s$  pour avoir un temps assez grand devant la période du goutte à goutte en sortie de capillaire.

Pour diverses valeurs de h, on mesure m pendant t

Exploitation :

Tracé de  $Q=f(h)$

On obtient une droite de coefficient directeur a =

et donc une viscosité de l'eau égale à

La valeur tabulée de l'eau à 25°C donnée par le Handbook est

Retour sur les hypothèses :

- Nombre de Reynolds : On prend la vitesse moyenne de l'écoulement  $v =$

ce qui est grand mais reste en dessous du nombre de Reynolds critique pour un écoulement cylindrique à partir duquel il y a apparition d'instabilités. Pour l'écoulement de Poiseuille cylindrique, la géométrie de l'écoulement fait que le nombre de Reynolds critique est de l'ordre de 5000. On est donc bien en dessous et on peut considérer l'écoulement laminaire. Cette haute valeur tient du fait que l'écoulement de Poiseuille est particulièrement stable et qu'il est nécessaire d'avoir des perturbations importantes pour le déstabiliser.

- Le profil de Poiseuille ne s'établit pas instantanément. Une certaine distance est nécessaire à l'établissement du profil. Le début de la zone où le profil des vitesses devient parabolique correspond à l'endroit où les couches limites se rejoignent.

Ainsi,

On a bien

- La tension de surface de l'interface eau/air augmente la pression en sortie du capillaire.

Ainsi,

Le terme lié à la tension superficielle est donc très négligeable.

Nous avons étudié certains écoulements particuliers avec des nombres de Reynolds différents où le régime d'écoulement est laminaire pour des raisons différentes.

Nous allons maintenant nous intéresser au cas d'écoulement où le terme inertiel prédomine c'est-à-dire à fort nombre de Reynolds  $Re > 1000$ . Dans ce cas l'équation de Navier Stokes est non linéaire et sa résolution est ardue.

Cependant, on peut tirer des informations simples de ce régime d'écoulement qui concerne notamment le cas important du mouvement d'un objet dans l'air (ex : avion).

### **3/ Ecoulement en soufflerie :**

#### **1) Tube de Pitot, vérification de la loi de Bernoulli :**

Quaranta p.145

Nous allons nous intéresser à des écoulements d'air dans une soufflerie. Vu la faible viscosité de l'air, on l'approxime comme un fluide parfait, hypothèse que l'on vérifiera.

En considérant des écoulements subsoniques, on peut considérer les écoulements incompressibles. Alors en régime permanent la loi de Bernoulli s'applique sur une ligne de courant :

### Expérience 3 : Vérification de la loi de Bernoulli tube de Pitot :

Un tube de Pitot est un dispositif permettant la mesure de la vitesse d'écoulement de l'air. On l'utilise beaucoup dans les avions. La relation de Bernoulli permet de lier la dépression au niveau du tube de Pitot à la vitesse de l'écoulement de l'air. Il est gradué en mm d'eau ainsi on a  
D'où

On peut mettre à profit cette loi pour essayer de trouver air.

A l'aide d'une anémomètre à fil chaud, on détermine la vitesse d'écoulement dans la soufflerie. En parallèle on relève la hauteur du liquide dans le tube de Pitot.

On place l'anémomètre à fil chaud tenue dans la soufflerie, on mesure  $v^2$  puis on retire l'anémomètre pour la mesure de la hauteur  $h$  du liquide dans le tube de Pitot (pour éviter de perturber l'écoulement).

#### Exploitation :

On trace  $v^2 = f(h)$

On arrive à air =

Cette valeur est assez éloignée de la valeur tabulée  $1,2 \text{kg.m}^{-3}$ . Cela peut venir du fait qu'on ne relève pas la vitesse avec l'anémomètre au même endroit que le tube de Pitot.

#### Retour sur les hypothèses :

- Nombre de Reynolds :

Donc on passe dans un régime inertiel où la viscosité est négligeable et où on peut considérer l'écoulement comme celui d'un fluide parfait. On peut calculer l'ordre de grandeur de la couche limite de viscosité :

Ainsi au de la de 1 mm depuis les bords de la soufflerie la viscosité est négligeable et l'écoulement est assimilable à celui d'un fluide parfait.

## 2) Force de traînée :

Quaranta p.362

Nous allons voir ici que le régime d'écoulement à très grand Reynolds est caractérisé par une expression différente de la force de traînée que celle de Stokes.

A haut nombre de Reynolds la force de traînée peut être décrite sous la forme :

Avec  $C$  le coefficient de traînée,  $S$  la surface apparente et  $V$  la vitesse de l'objet.

Pour mettre en évidence la dépendance en  $v^2$  de la force nous allons mesurer l'angle  $\theta$  pour mettre en équilibre la sphère et utiliser le fait que la force lui est proportionnel.

### Expérience 4 : Dépendance en $v^2$ de la force de traînée à haut nombre de Reynolds :

On fixe la sphère dans la soufflerie.

On allume la soufflerie, on relève la vitesse d'écoulement grâce à l'anémomètre placée proche de la sphère.

On tend le ressort afin d'équilibrer les forces s'exerçant sur la sphère. On lit l'angle  $\theta$  sur le rapporteur.

On refait l'expérience pour plusieurs vitesses.

### Exploitation :

On trace  $\theta$  en fonction de  $v^2$ . Droite qui témoigne bien de la dépendance en  $v^2$  de la force de traînée à haut nombre de Reynolds.

## **Conclusion :**

Nous avons vu ici trois différents régimes d'écoulement en jouant sur le nombre de Reynolds de l'écoulement. Chaque régime a ses propriétés propres comme la force proportionnelle à  $v$  dans le régime de Stokes et proportionnelle à  $v^2$  dans un régime à fort nombre de Reynolds. La complexité des écoulements en mécanique des fluides oblige bien souvent à faire des hypothèses simplificatrices à vérifier à posteriori.