

## Thème II. Mouvements et interactions

# TP n°14 Mesure du coefficient de frottement fluide

Vendredi 9<sup>er</sup> février 2024

### Compétences exigibles du programme :

- ✓ Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.
- ✓ Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A).
- ✓ Capacité numérique : simuler, à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur, un processus aléatoire permettant de caractériser la variabilité de la valeur d'une grandeur composée.

### Matériel :

- Grande éprouvette remplie de glycérol ;
- Deux élastiques ;
- Des billes d'acier calibrées en rayon ;
- Pied à coulisse ;
- Un aimant ;
- Une balance

### Données

- Masse volumique du glycérol (à 20 °C) :  $\rho_f = 1,26 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- La viscosité du glycérol dépend de la température
- Le glycérol s'hydrate rapidement au contact de l'atmosphère humide et la présence d'eau modifie très rapidement sa viscosité :

Glycérol	pur (20 °C)	pur (25 °C)	hydraté (96% en masse, 20 °C)
$\eta$ (Pa · s)	1.46	0.934	0.648

- Le site permet d'obtenir la valeur tabulée de la viscosité et de la masse volumique selon la température et le pourcentage en eau :

[http://www.met.reading.ac.uk/~sws04cdw/viscosity\\_calc.html](http://www.met.reading.ac.uk/~sws04cdw/viscosity_calc.html)

### Objectifs du TP

- Mesurer la viscosité dynamique du glycérol en étudiant les frottements fluides exercés sur une bille en mouvement dans le glycérol.

## I Mise en équation

On étudie la chute de billes sphériques de rayon  $r$  et de masse volumique  $\rho_{\text{bille}}$  dans une éprouvette cylindrique remplie d'un fluide visqueux de masse volumique  $\rho_f$ .

La bille est soumise à trois forces :

- le poids  $m\vec{g} = \rho_{\text{bille}}V\vec{g}$ , avec  $V = \frac{4\pi}{3}r^3$  le volume de la bille ;
- la poussée d'Archimède  $\vec{\Pi}_A = -\rho_fV\vec{g}$  ;
- et la force de frottement fluide, modélisée par la formule de Stokes  $\vec{F} = -6\pi\eta r\vec{v}$ , où  $\eta$  est la viscosité dynamique du fluide.

Cependant, le milieu dans lequel chute la bille n'est pas illimité, l'existence de l'éprouvette (cylindre de rayon  $R$ ). Cela induit une correction non négligeable à la formule de Stokes dans les conditions expérimentales dans lesquelles nous travaillons. Dans ces conditions, cette force peut être modélisée par

$$\vec{F} = -6\pi\eta \frac{r}{1 - 2,1 \times \frac{r}{R}} \vec{v}$$

Le principe fondamental de la dynamique s'écrit :

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \vec{g} - \rho_f V \vec{g} - 6\pi\eta \frac{r}{1 - 2,1 \times \frac{r}{R}} \vec{v}$$

Une fois le régime permanent atteint :

$$\vec{v} = \frac{(m - \rho_f V)}{6\pi\eta r} \left(1 - 2,1 \times \frac{r}{R}\right) \vec{g}$$

Soit, en norme :

$$v = \frac{2(\rho_{\text{bille}} - \rho_f)}{9} \frac{gr^2}{\eta} \times \left(1 - 2,1 \times \frac{r}{R}\right)$$

Le régime transitoire est d'une durée de quelques  $\tau = \frac{m}{6\pi\eta r} \times \left(1 - 2,1 \times \frac{r}{R}\right) = \frac{2\rho_{\text{bille}}r^2}{9\eta} \times \left(1 - 2,1 \times \frac{r}{R}\right)$

Nous faisons les hypothèses suivantes :

- le régime permanent est atteint rapidement, la bille chute à vitesse constante ;
- le fond du tube n'a pas d'influence sur l'écoulement.

## II Expérience

### Protocole

Q1. \* Proposer un protocole permettant de déterminer la valeur de la viscosité dynamique du fluide,  $\eta$ .

On privilégiera un protocole permettant de faire une étude statistique.

Ce protocole devra être **détaillé**, **entièrement rédigé** et accompagné d'un **schéma légendé** pour illustrer les mesures à effectuer :

- les grandeurs à mesurer : avec quoi ? comment ?
- l'exploitation à effectuer, notamment les calculs à faire une fois les mesures effectuées.

### Expérience

 Après avoir fait valider le protocole par l'enseignant, réaliser l'expérience proposée.

## III Exploitation et conclusion

### Exploitation

Q2. Noter les mesures.

Q3. Exploiter les mesures effectuées pour en déduire la viscosité dynamique du glycérol, **avec son incertitude-type**.

*L'exploitation se fera à l'aide de Python.*

Q4. Vérifier l'hypothèse de régime permanent.

### Conclusion

Q5. Conclure sur la valeur de la viscosité dynamique du glycérol, avec son incertitude-type, dans les conditions de l'expérience.

## IV S'il vous reste du temps : comment faire avec une seule mesure ?

### Exploitation

-  Q6. Utiliser une mesure effectuée précédemment et mettre en œuvre une simulation Monte-Carlo pour déterminer le résultat de l'expérience.

### Conclusion

-  Q7. Conclure sur la valeur de la viscosité dynamique du glycérol, avec son incertitude-type, dans les conditions de l'expérience.