

## TP9 – Viscosimétrie

La viscosité dynamique est une grandeur qui permet de caractériser la réponse d'un fluide lors d'un écoulement. Il existe plusieurs méthodes pour la mesurer. On s'intéresse ici au viscosimètre à chute de bille, dont le principe repose sur la mesure de la vitesse limite d'une bille lors de sa chute dans un fluide.

### Objectifs

- Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A).
- Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié, en déduire la vitesse et l'accélération.
- **Mettre en œuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.**

### Étude préliminaire

On s'intéresse à la chute d'une bille métallique de rayon  $r$  et de masse volumique  $\rho_a$  dans un fluide visqueux de masse volumique  $\rho_g$ . On étudie le mouvement dans le référentiel du laboratoire, considéré comme galiléen durant la durée de l'expérience. La bille est soumise à trois forces ( $\vec{e}_z$  est le vecteur unitaire vertical orienté vers le bas) :

- son poids :  $\vec{P} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_a g \vec{e}_z$  ;
- la poussée d'Archimède :  $\vec{\Pi} = -\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_g g \vec{e}_z$  ;
- la force de frottements fluides, modélisée par la formule de Stokes :

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

où  $\eta$  est la viscosité dynamique du fluide (Doc. 1).

1. La deuxième loi de Newton projetée sur  $\vec{e}_z$  donne :

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g - 6\pi\eta r v, \text{ avec } m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_a \text{ et } \rho' = \rho_a - \rho_g.$$

- ☞ Montrer qu'en régime permanent, la bille atteint une vitesse limite  $v_l$  dont on donnera l'expression. Faire l'application numérique pour le glycérol pur à 20 °C.

Données :  $\rho_a = 7,83 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  et  $\rho_g = 1,3 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

- ☞ 2. Avec la distance  $L$  définie dans le document 2 montrer que :

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2 g}{v_l} \rho',$$

où  $v_l$  est la vitesse limite de la bille en régime permanent.

- ☞ 3. Pourquoi ne peut-on placer le repère 1 trop près du haut de l'éprouvette ?
- ☞ 4. Proposer, en quelques lignes, deux protocoles permettant de mesurer la viscosité du glycérol, compte-tenu du matériel à disposition (Doc. 3).

## Mesure de la viscosité dynamique du glycérol

### 5. Mesurer la viscosité dynamique du glycérol.

APP ANA  
REA VAL  
COM

#### Consignes :

- Une estimation de l'incertitude-type par une méthode statistique est attendue.
- Une comparaison entre les incertitudes-type de type A et B est attendue. On pourra s'aider du programme `tp09-viscosimetrie.py` fourni.
- La rédaction du compte-rendu s'appuiera sur les étapes de la démarche scientifique.

## Documents

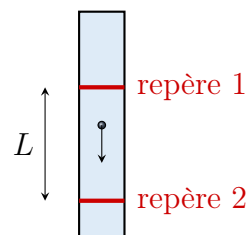
### Document 1 – Viscosité cinématique $\eta$ du glycérol

Le glycérol est un liquide transparent et incolore qui s'hydrate rapidement au contact de l'air humide. Sa viscosité dynamique dépend de la température et de son hydratation.

<b>Glycérol</b>	<b>pur (20 °C)</b>	<b>pur (25 °C)</b>	<b>96 % en masse, hydraté (20 °C)</b>
$\eta$ (Pa · s)	1,46	0,934	0,648

### Document 2 – Viscosimètre à chute de bille

Le principe du viscosimètre à chute de bille consiste à lâcher, sans vitesse initiale, une bille dans une éprouvette remplie du liquide à caractériser. La mesure de la vitesse limite  $v_l$  permet de remonter à la viscosité dynamique du liquide.



### Document 3 – Matériel

- une éprouvette remplie de glycérol ;
- une bille en acier ;
- un aimant ;
- un pied à coulisse ;
- deux élastiques ;
- une webcam ;
- un ordinateur ;
- un chronomètre, ou celui de votre smartphone.