TITRE : Vérification de la loi de Stokes en mesurant la viscosité d'un fluide

Étudiants : ANIZAN Mélanie , BURLET-PARENDEL Manon

LP associées :

Bibliographie :
Fruchart, Physique expérimentale : optiq, mécaniq des fluides, ondes et thermodynamique.

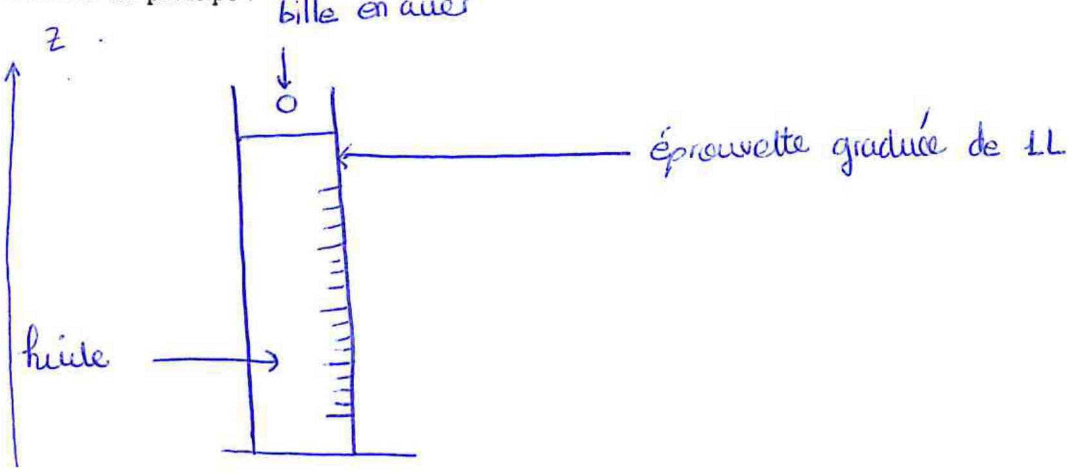
Objectifs de la manipulation :
Mesurer la viscosité d'un fluide pour vérifier la loi de Stokes

Matériel & sécurité :
- éprouvette graduée de 1L remplie d'une huile silicone (Rothitherm)
- billes en acier (ø ~ mm)
- chronomètre
- Palmer

Spécificités du matériel, trucs et astuces :
- Penser à vérifier la taille de la bille en la mesurant avec un palmer.
- Ne pas utiliser des billes trop grandes car elle devient trop rapide et plus difficile de mesurer.
↳ et la dynamique s'écarte de la loi de Stokes (avec des billes ø ≳ 5 mm)

Consignes pour la prise de mesure :

Schéma de principe :



$\mu_{huile} = \mu_{liq} = 970\ kg/m^3 \pm 5\ \%$ à $20°C$

$\nu_{huile} = 1000\ mm^2.s^{-1}$ → de, si possible trouver η directement.

Protocole, résultats et exploitation :

1) Théorie

PFD appliqué à la bille de rayon r et de masse volumique μ_{bil}.

Système : bille.

référentiel : laboratoire supposé galiléen.

forces : • poids $\vec{P} = m\vec{g} = \mu_{bil} \times \frac{4}{3}\pi r^3 \vec{g}$

• poussée d'Archimède $\vec{\Pi} = -\mu_{liq} \times \frac{4}{3}\pi r^3 \vec{g}$

• force de frottement $\vec{F} = -6\pi\eta r\vec{v}$ (loi de Stokes)

η : viscosité dynamique du fluide (huile)

PFD projeté sur l'axe z :

$$-\mu_{bil} \times \frac{4}{3}\pi r^3 \frac{dv}{dt} = -\mu_{bil} \times \frac{4}{3}\pi r^3 g + \mu_{liq}\frac{4}{3}\pi r^3 g + 6\pi\eta r v$$

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{\mu_{liq}}{\mu_{bil}} g - \frac{6 \times 3}{\mu_{bil} 4 r^2}\eta v$$

$$\frac{dv}{dt} = g\left(\frac{\mu_{bil} - \mu_{liq}}{\mu_{bil}}\right) - \frac{18\eta}{4\mu_{bil} r^2} v$$

Protocole, résultats et exploitation :

$$v = Ae^{-t/\tau} + v_{lim} \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{4\mu_{bil} r^2}{18\eta} = \frac{2\mu_{bil} r^2}{9\eta}$$

$$v_{lim} = \frac{2r^2}{9\eta} g\,(\mu_{bil} - \mu_{liq}).$$

CI : $v(0) = 0 \Rightarrow 0 = A + v_{lim} \Rightarrow A = -v_{lim}$.

$$v(t) = \frac{2r^2}{9\eta} g\,(\mu_{bil} - \mu_{liq})\left[1 - e^{-t/\tau}\right].$$

Une fois le régime permanent atteint, $v = v_{lim}$.

$$\boxed{v_{lim} = \frac{2r^2}{9\eta} g\,(\mu_{bil} - \mu_{liq})}$$

En mesurant v_{lim}, on a donc accès à la viscosité du fluide η.

2) Protocole

- Vérifier la taille de la bille au Palmer
- Lâcher la bille dans l'éprouvette
- Démarrer le chronomètre sur une graduation.
- Noter le temps mis par la bille ~~pour atteindre les~~ entre deux graduations éloignées $\rightarrow v = \frac{d}{\Delta t}$ en régime permanent
- Refaire au moins 5 fois pour moyenne (statistique)
- ~~Tracer la distance parcourue par la bille en fonction du temps – la pente de la droite donne v_{lim}.~~
- Déduire η et comparer à valeur tabulée
- On peut faire la mesure avec différentes tailles de bille pour montrer l'effet sur v_{lim}.
- Tracer $v_{lim} = f(r^2)$

3) Résultats

- pour une bille de diamètre = 1 mm.

On obtient $v_{lim} = 0{,}0029\ m.s^{-1}$ incertitudes?

$$\eta = \frac{2r^2}{9\cancel{\eta}\,v_{lim}} g\,(\mu_{bil} - \mu_{liq})$$

Commentaires, questions, remarques :

$$\eta = \frac{2 \times (0,5.10^{-3})^2 \times 9,81 \times (7,88.10^3 - 970)}{9 \times 0,0029}$$

$\eta = 1,29$ Pa.s

$\nu = \frac{\eta}{\rho_{liq}}$ (viscosité cinématique)

$\nu = \frac{1,29}{970} = 1,29 10^{-3}$ m²/s $= 1300$ mm²/s. (à T ~ 16°C)

Ordre de grandeur de ν pour l'huile utilisée ≃ 1000 mm²/s (à T = 20°C)
=) Ok. (température plus faible donc viscosité plus élevée).

• pour une bille de diamètre = 1,5 mm.
Vlim = 0,0062 m.s-1

Vlim plus grande qu'avec la bille de diamètre plus faible.

=) $\eta = 1,36$ Pa.s. $\nu = 1400$ mm²/s. (à T ~ 16°C)

incertitudes : l'incertitude principale est sur la mesure du temps avec ±1 s c'est énorme ! avec une distribution triangulaire

$u_t = \frac{1}{\sqrt{6}}$ s $= 0,4$ s. $t = t_0 \pm 0,8$ s.

⊕ incertitude sur la masse volumique si la température est différente de 20°C

Temps de réaction de l'humain ~ 0,1 ou 0,2 s.
Celle-ci est constante durant l'exp.

↳ Il vaut mieux étudier la chute de nombreuses billes. (entre 5 et 10) de même diamètre et faire une moyenne des temps de chute (pour une même distance) afin d'avoir une incertitude statistique.

→ Puis faire des mesures pour 3 ou 4 tailles de billes différentes et tracer $v_{lim} = f(r^2)$ (avec des incertitudes sur $v_{lim} = \frac{d}{\Delta t}$)
Le coef dir de la droite permet de remonter à η.