

## TP 11 – Étude de lois de force

**Matériel :** balance à 0,1 g (max 700 g), support boy et potences, tige de diamètre important, pied à coulisse, règle graduée, béccher 400 mL ; éprouvette graduée, billes acier, glycérol, chronomètre, aimant.

**Objectifs :** Vérifier par l'expérience la validité de la formule d'Archimède ; utiliser une loi de frottement fluide pour en déduire une mesure de viscosité.

**Consignes :** Préparer la manipulation qui vous est attribuée (le I ou le II). Temps à y consacrer : 1h10. Bien lire les questions. Une fois le temps écoulé, un groupe est désigné pour présenter son TP à la classe. Ceux qui n'ont pas réalisé cette expérience prennent des notes dans leur compte rendu lors de la présentation et peuvent poser des questions.

### I Étude de la poussée d'Archimède

Cette partie se propose de mettre en évidence la poussée d'Archimède, d'en mesurer les effets et de vérifier la loi qui la décrit.

1 - Rappeler l'expression de la force d'Archimède qui s'exerce sur un corps dont un volume  $V$  est immergé dans un fluide de masse volumique  $\rho$ .

2 - Réaliser le dispositif schématisé ci-contre. On fera la tare de la balance lorsque la tige n'est pas immergée. Immerger la tige en jouant sur la hauteur du support. Qu'observe-t-on ?

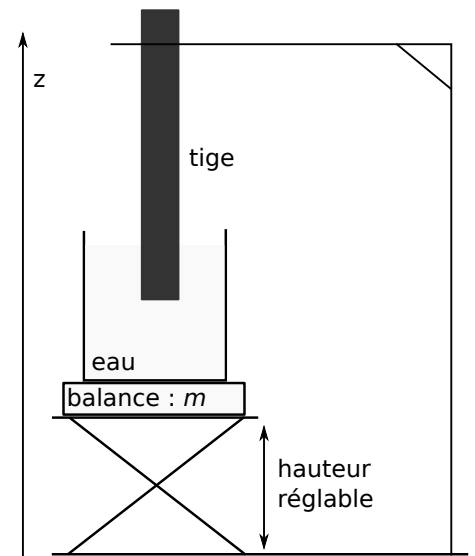
Pour expliquer ceci, donner l'expression de la force exercée par l'eau sur la tige. Quelle est alors l'expression de la force exercée par la tige sur l'eau ?

Puis effectuer un bilan des forces sur le béccher en donnant l'expression de chaque force en fonction de paramètres mesurables ou à mesurer : on introduira la profondeur d'immersion  $h$ , la section de la tige  $S$ , etc...

3 - Donner l'expression théorique de la masse affichée par la balance.

4 - Réaliser quelques mesures de masse pour différentes profondeurs d'immersions.

Vérifier à l'aide d'une régression linéaire sur Regressi que la loi théorique de la question précédente est bien vérifiée. Si elle l'est, en déduire une mesure de la masse volumique de l'eau. Comparer à la valeur tabulée.



### Consignes pour la présentation orale

- Décrire l'expérience avec un schéma. Décrire ce que l'on observe sur la balance. Expliquer pourquoi.
- Côté théorie : Présenter le bilan des forces et la démonstration permettant d'arriver à l'expression théorique de la masse lue sur la balance en fonction de la hauteur  $h$  immergée.
- Côté expérience : Présenter la série de mesures réalisées. Décrire comment chaque quantité a été mesurée.
- Analyse des résultats : Présenter le traitement des données sur Regressi : que trace-t-on ? Qu'est ce que cela donne ?
- Conclure sur l'accord théorie-expérience.

## II Étude des frottements fluide

### Côté théorie

Nous avons traité le cas de la chute libre d'un objet dans un fluide dans le cours. Un principe fondamental de la dynamique appliqué à la bille montre que l'équation différentielle portant sur la vitesse  $\vec{v}$  est :  $m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{P} + \vec{\Pi} - \lambda \vec{v}$ , avec les forces s'exerçant sur la bille :

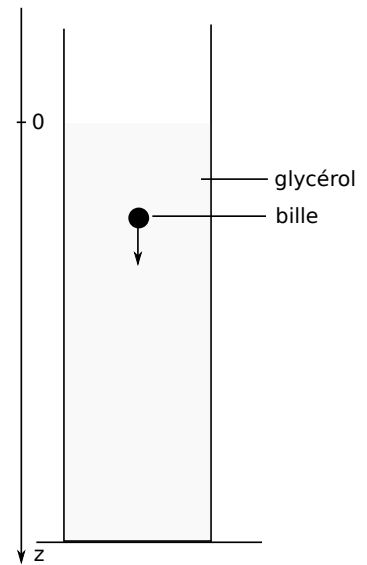
- $\vec{\Pi}$  la poussée d'Archimède
- $\vec{P}$  le poids
- $-\lambda \vec{v}$  la force de frottement, avec l'expression théorique  $\lambda = 6\pi\eta R$  où  $R$  est le rayon de la bille et  $\eta$  la viscosité du fluide.

1 - Exprimer les forces en fonction de  $\vec{e}_z$ ,  $R$  (rayon de la bille),  $\rho_f$  (masse volumique du fluide),  $\rho_b$  (masse volumique de la bille),  $\eta$ ,  $g$ .

Montrer alors que l'on a, en notant  $\vec{v} = v\vec{e}_z$  :

$$m \frac{dv}{dt} + 6\pi\eta R v = \frac{4}{3}\pi g R^3 (\rho_b - \rho_f).$$

En déduire que l'expression de la vitesse limite atteinte par la bille est  $v_{\text{lim}} = \frac{2}{9} \frac{gR^2}{\eta} (\rho_b - \rho_f)$ .



### Côté expérience

On souhaite exploiter les résultats théoriques ci-dessus afin de mesurer la viscosité  $\eta$  du fluide utilisé (il s'agit de glycérol).

- 2 - On admet pour l'instant que la vitesse limite est atteinte en moins de 5 cm. Mettre au point un protocole qui permet de mesurer cette vitesse de chute. On réalisera une dizaine de fois la mesure. Pour ne pas mettre glycérol partout, on utilisera un **aimant** pour ramener les billes vers la surface.
- 3 - Calculer la moyenne de votre série de mesure, ainsi que son écart-type. Utiliser ensuite la fiche de début d'année sur les incertitudes pour estimer la valeur de la vitesse et son incertitude (qui est donc de type A).
- 4 - En déduire une valeur de la viscosité du fluide, et son incertitude.
- 5 - (si le temps le permet) Enfin, pour valider l'hypothèse d'une vitesse limite atteinte en moins de 5 cm, calculer la distance théorique au bout de laquelle la solution de l'équation différentielle sur  $v$  atteint 95% de la valeur limite. Conclusion ?
- 6 - (si le temps le permet) Nous n'avons pas vérifié si la relation  $-6\pi R\eta\vec{v}$  est valide. Que faudrait-il faire pour cela ?

**Données :** Densité du glycérol :  $d_f = 1,26$  ; densité de l'acier :  $d = 7,6$ , rayon des billes :  $R = 2$  mm. La viscosité du glycérol dépend de la température et de son hydratation, elle varie entre 0,5 Pa · s ou moins s'il est hydraté et 1,5 Pa · s s'il est pur à 20 °C.

### Consignes pour la présentation orale

- Décrire l'expérience avec un schéma. Donner l'objectif de l'expérience.
- Côté théorie : Présenter le bilan des forces et la démonstration permettant d'arriver à l'expression théorique de la vitesse limite.
- Côté expérience : Présenter la série de mesures réalisées. Décrire comment chaque quantité a été mesurée.
- Analyse des résultats : présenter le traitement des données qui aboutit à la valeur de  $v_{\text{lim}}$  et à son incertitude, puis donner la valeur de la viscosité qui en est déduite.