

## TP19 : Mesure d'un coefficient de viscosité dynamique

### CAPACITÉS EXPÉRIMENTALES TRAVAILLÉES :

- ▷ Utiliser une balance de précision.
- ▷ Mettre en oeuvre un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.
- ▷ Évaluer par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique.
- ▷ Enregistrer un phénomène à l'aide d'une caméra numérique et repérer la trajectoire à l'aide d'un logiciel dédié.
- ▷ Utiliser un logiciel de régression linéaire afin d'obtenir les valeurs des paramètres du modèle. Analyser les résultats obtenus à l'aide d'une procédure de validation : analyse graphique intégrant les barres d'incertitude.
- ▷ 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.
- ▷ Mettre en oeuvre un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.

### MATÉRIEL :

Balance de précision au 1/100<sup>e</sup> de gramme, billes, réglet et/ou palmer, éprouvette graduée de 1L avec règle en papier, règle graduée au millimètre, webcam avec support, ordinateur avec les logiciels Bandicam, Aviméca et Regressi.

Les problèmes du millénaire sont un ensemble de sept défis mathématiques réputés insurmontables, posés par l'Institut de mathématiques Clay en 2000. La résolution de chacun de ces problèmes est dotée d'un prix d'un million de dollars. À ce jour, six d'entre eux demeurent non résolus.

Parmi ces problèmes figure la démonstration de l'existence d'une solution de l'**équation de Navier-Stokes** pour un fluide incompressible, qui correspond à la deuxième loi de Newton appliquée à une particule de fluide d'un fluide visqueux.

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v} \right) = -\overrightarrow{\text{grad}}(P) + \rho \vec{g} + \eta \Delta \vec{v}$$

Masse volumique      accélération      forces volumiques de pression      de gravité      de viscosité

FIGURE 1 – Équation de Navier-Stokes

L'équation de Navier-Stokes, proposée par les physiciens éponymes au 19<sup>e</sup> siècle, joue un rôle central en **mécanique des fluides**.

Sa résolution approchée par simulation numérique permet de modéliser les courants océaniques et les mouvements des masses d'air de l'atmosphère, le comportement des gratte-ciels ou des ponts sous l'action du vent, le mouvement des avions, trains ou voitures à grande vitesse, mais aussi l'écoulement de l'eau dans un tuyau.

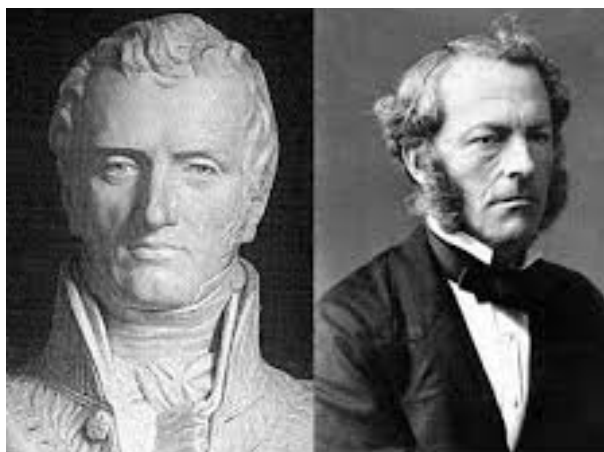


FIGURE 2 – Henri Navier (1785-1836) et George Gabriel Stokes (1819-1903)

Pour pouvoir exploiter l'équation de Navier-Stokes, il est nécessaire de connaître la valeur du coefficient  $\eta$  dans le membre de droite, qui désigne la **viscosité dynamique du fluide**. Elle s'exprime en poiseuille (Pl), autrement dit en pascal-seconde (Pa·s) et est d'autant plus grande que le fluide est visqueux.

La viscosité dynamique est une grandeur tabulée, qui peut varier sur de nombreux ordres de grandeur :

$$\begin{aligned}\eta_{\text{air}} &\sim 10^{-5}\text{Pl}, \\ \eta_{\text{eau}} &\sim 10^{-3}\text{Pl}, \\ \eta_{\text{huile}} &\sim 1\text{Pl}, \\ \eta_{\text{miel}} &\sim 10\text{Pl}, \\ \eta_{\text{bitume}} &\sim 10^8\text{Pl}, \\ \eta_{\text{glacier}} &\sim 10^{12}\text{Pl}.\end{aligned}$$

En mécanique, elle apparaît dans la **loi empirique de Stokes**, qui décrit la force de frottement fluide linéaire subie par un système en forme de boule situé "loin" de tout obstacle :

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

avec  $R$  le rayon de la boule et  $\vec{v}$  le vecteur vitesse.

L'objectif de cette séance de travaux pratiques est de concevoir et mettre en œuvre un protocole pour mesurer la viscosité dynamique d'un liquide, en l'occurrence l'eau. On utilisera la technique dite de **viscosimétrie à chute de bille**.

PROBLÉMATIQUE :

Comment mesurer la viscosité dynamique d'un liquide ?

## 1 Aspects théoriques

Un viscosimètre à chute de bille est un dispositif très simple à mettre en place. Il s'agit d'une éprouvette, remplie du fluide à étudier, dans laquelle chutent des billes

sphériques de masse  $m$  et rayon  $R$  connu.

On souhaite étudier le mouvement d'une bille dans le viscosimètre.

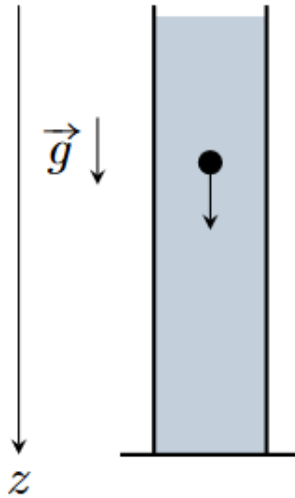


FIGURE 3 – Schéma d'un viscosimètre à bille

**Q1.** Montrer que la poussée d'Archimède et le poids peuvent être regroupés dans une unique force appelée poids apparent, qui agit comme le poids d'une bille de masse volumique apparente  $\rho_a = \rho_b - \rho_e$ .

**Q2.** Par un argument énergétique, justifier la présence du signe  $-$  dans l'expression de la loi de Stokes.

**Q3.** Établir l'équation différentielle vérifiée par la norme  $v$  de la vitesse de la bille. La mettre sous forme canonique.

**Q4.** Résoudre cette équation différentielle en supposant que la bille est lâchée dans le fluide sans vitesse initiale, puis représenter l'allure du graphe de  $v(t)$ .

**Q5.** Exprimer la vitesse limite atteinte par la bille.

**Q6.** Sous l'hypothèse où cette vitesse limite est atteinte rapidement, expliquer brièvement comment la mesurer.

## 2 Mesure du coefficient de viscosité dynamique

**Q7.** Proposer un protocole pour mesurer la viscosité dynamique de l'eau. Le faire valider par l'enseignant.

**Q8.** Mettre en œuvre le protocole et rendre compte de vos expériences. Vous indiquerez les principales difficultés auxquelles vous vous retrouverez confrontés au cours de l'expérience et les problématiques qu'elles soulèvent, puis comment vous les aurez surmontées.

### 3 Annexe - Enregistrement d'une vidéo et exploitation sur Regressi

Pour filmer un mouvement avec la webcam mise à disposition :

- Ajouter une règle étalon sur le support de la potence.
- Mettre en place la webcam sur un support, en face du dispositif expérimental.
- Créer un dossier sur le bureau de votre session sur l'ordinateur pour y enregistrer les fichiers utiles.
- L'enregistrement de la vidéo est réalisé avec le logiciel Bandicam.
- Appuyer sur l'onglet HDMI, cela sélectionne le mode vidéo. Accepter les réglages dans la fenêtre bleue qui est apparue.
- Dans l'onglet Vidéo à gauche, cliquer sur Réglages en bas à droite, et choisir le codec MPEG-1. Dans l'écran enregistrement : Mode -> Général : Dossier de sortie à sélectionner.
- Pour déclencher l'enregistrement, appuyer sur la touche rouge Rec.
- Enregistrer la vidéo quand elle est réussie.

Pour exploiter la vidéo :

- Ouvrir le logiciel Avimeca3.
- Dans l'onglet fichier, choisir ouvrir un clip vidéo, puis sélectionner votre fichier vidéo.
- Dans la barre de tâches, cliquer sur le bouton en forme de cible. On peut alors choisir une forme de cible permettant le pointage.
- À droite de l'écran, les données apparaissent dans un tableur. Au-dessus de ce tableur se situent trois onglets. L'un d'eux sert à fixer un repère. Il est appelé étalonnage. Choisir une origine, l'orientation des axes et la taille de l'étalon.
- Cliquer sur le centre de masse de la bille. À chaque clic, le logiciel change d'image. Faire ce pointage avec patience et attention.
- Une fois le pointage terminé, enregistrer le fichier : Fichier -> Mesures -> Enregistrement dans un fichier -> Format Regressi Windows (\*rw3)
- Dans Regressi, cliquer sur l'icône graphique, choisir l'abscisse et l'ordonnée pour représenter la coordonnée verticale en fonction du temps.
- Pour calculer une dérivée d'une grandeur expérimentale : Grandeurs -> Variables -> Ajouter -> Dérivée.