

TP M2 : Analyse vidéo d'un mouvement

Objectifs

Ce TP a pour objectif d'étudier expérimentalement un mouvement filmé dans lequel les frottements jouent un rôle essentiel. Il s'agit non seulement de mettre en œuvre un dispositif expérimental en mécanique répondant à des critères précis mais aussi d'exploiter l'acquisition de ce mouvement pour remonter aux paramètres caractéristiques de ce dernier. À l'issue du TP, il s'agira de maîtriser les capacités suivantes :

- ★ *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..*
- ★ *Proposer un protocole expérimental permettant d'étudier une loi de force.*
- ★ *Prendre en compte la trainée pour modéliser une situation réelle.*
- ★ *Vérification d'une loi physique ou validation d'un modèle ; ajustement de données expérimentales à l'aide d'une fonction de référence modélisant le phénomène.*

I. Préparation de la partie théorique du TP

On considère une bille de plastique (Nylon de masse volumique ρ_1), de rayon R , en mouvement de chute verticale dans une huile de masse volumique $\rho_2 < \rho_1$. On donne l'expression de la force de frottement fluide, dite « force de Stokes » ou plus généralement « trainée », pour une bille située dans un milieu infini et se déplaçant suffisamment lentement pour que l'écoulement autour d'elle soit laminaire (c'est-à-dire sans turbulences) :

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

où \vec{v} sa vitesse et η la viscosité du fluide.

On donne :

- masse volumique des billes : $\rho_1 = 1,10 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$;
- masse volumique du mélange eau - huile de silicone : $\rho_2 = 9,65 \cdot 10^2 \text{ kg.m}^{-3}$;
- viscosité : $\eta = 10 \text{ mPa.s}$;
- rayon d'une bille : $R_1 = 3,75 \text{ mm}$ et $R_2 = 2,50 \text{ mm}$.

Répondre aux questions suivantes sur votre cahier de laboratoire :

1. Déterminer l'équation du mouvement de la bille et en déduire qu'elle atteint une vitesse limite.
2. Quels sont le temps caractéristique et la distance caractéristique mis par la bille pour atteindre cette vitesse limite ? Pour ce faire, on pourra adimensionner l'équation du mouvement.
3. Faire les applications numériques pour ces deux grandeurs ainsi que pour la vitesse limite.
4. Commenter la possibilité d'observer ou non ces phénomènes et ces différentes grandeurs.

II. Présentation du matériel

Le matériel utilisé pour ce TP est, par poste élève :

- ★ une webcam ;
- ★ une potence avec noix et pince quatre doigts ;
- ★ deux tubes remplis d'une huile « chute de bille » de Pierron avec deux billes de tailles différentes ;
- ★ une règle graduée ;
- ★ un rouleau de gros adhésif ;
- ★ un ordinateur muni des logiciels *Virtual Dub* et *Latis Pro* (on pourra aussi utiliser le logiciel tracker) ;

III. Acquisition d'un mouvement

*Le but de cette partie est d'acquérir le mouvement de chute d'une bille en nylon dans un tube en plexiglass rempli d'huile. Ce mouvement sera traité à l'aide de **LatisPro** qui n'accepte que les fichiers d'extension ".AVI". Il faut donc régler le logiciel d'acquisition pour obtenir un fichier sous ce format. Par ailleurs, pour être exploitable, la vidéo doit comporter une échelle et pour que cette échelle soit fiable, il faut qu'elle soit située le plus proche possible de la trajectoire étudiée afin de minimiser les erreurs de parallaxe.*

☞ Connecter la webcam à votre ordinateur via un port USB. Si cela n'était pas encore fait, un driver s'installe automatiquement.

☞ Lancer le programme **VirtualDub** et faire les réglages préliminaires. Ces réglages sont détaillées en annexe.

☞ Placer les onglets en plexiglass situés sur les tubes et mesurer leur distance à l'aide de la règle graduée. Noter soigneusement ces distances.

☞ Cadrer et éclairer convenablement pour voir les quatre onglets.

☞ Lancer l'acquisition à l'aide de la touche **F5**.

☞ Retourner les tubes doucement de sorte que les bulles d'air remontent avant que la chute des billes ne commence.

☞ Arrêter l'acquisition à l'aide de la touche **Esc** lorsque la bille de rayon R_1 quitte l'image. On répètera les étapes précédentes pour acquérir le mouvement spécifique de la seconde bille ¹.

1. Est-il nécessaire d'attendre qu'elle sorte du champ de la caméra pour arrêter l'acquisition ?

IV. Dépouillement du mouvement

Le but de cette partie est de repérer la trajectoire précédente à l'aide du logiciel **LatisPro**.

☞ Dans LatisPro, ouvrir l'onglet **Édition** puis **Analyse de séquence vidéo** et ouvrir le fichier créé précédemment.

☞ Étalonner LatisPro. Pour cela, il faut successivement :

- sélectionner l'origine ;
- sélectionner l'étalon par un clic au départ et clic à l'arrivée (on pourra noter l'intérêt de la loupe située sur la droite de la vidéo.) ;
- sélectionner le sens des axes.

☞ Détecter le mouvement grâce à la détection automatique. Attention, la détection automatique n'est pas toujours faisable avec la plus petite des deux billes. Commencer donc par la plus grosse.

⚡ Donner précisément les réglages effectués pour l'étalonnage ci-dessus.

V. Traitement des données

Le but de cette partie est d'obtenir la vitesse et l'accélération de la bille à l'aide de la trajectoire obtenue précédemment.

Grâce aux manipulations précédentes, on dispose d'une série de mesures des positions successives X et Y du point étudié au cours du temps. On va l'étudier par plusieurs méthodes numériques : par le calcul naïf de ses dérivées puis par l'étude directe de l'équation horaire du mouvement.

1. Manipulation naïve

☞ Tracer le mouvement désiré en fonction du temps.

☞ Faire calculer par **LatisPro** la dérivée (vitesse) et la dérivée seconde (accélération). Les tracer.

⚡ Que pensez-vous des différents signaux obtenus et notamment du bruit qu'ils présentent. Sont-ils exploitables ? Si oui, comment ?

Remarque à retenir : la dérivation fait toujours apparaître des problèmes de bruit haute fréquence. On peut le comprendre en notant que dériver un signal temporel sinusoïdal revient à multiplier sa représentation fréquentielle par $j\omega = j2\pi f$. Lors d'une dérivation, l'amplitude d'une composante est donc d'autant plus amplifiée que sa fréquence est élevée.

2. Exploitation de l'équation horaire

☞ Décrire la courbe traçant l'évolution de la position en fonction du temps.

☞ Dans sa partie linéaire, modéliser cette courbe au mieux.

➤ Quelle est la vitesse de chute de la bille dans le tube ? Quelle précision peut-on attendre de cette mesure ?

➤ À l'aide du modèle du mouvement de chute de la bille dans l'huile, déterminer la force de frottement fluide s'exerçant sur la bille au cours de ce mouvement.

3. Exploitation des mesures

Dans cette partie, on utilise les résultats de la préparation théorique du TP pour déterminer la valeur de la viscosité du fluide dans lequel se déroule le mouvement.

➤ Dédire de la valeur de la vitesse limite, le coefficient de frottement $\lambda = 6\pi\eta R$ tel que la force de frottement fluide vaut :

$$\vec{f} = -\lambda \vec{v}.$$

➤ En déduire la viscosité de l'huile, son incertitude, ainsi que son unité en unité de base du système international.

➤ L'huile inodore, incolore, de masse volumique $\rho_2 = 965 \pm 5 \text{ kg.m}^{-3}$, correspond à une huile de silicone. A l'aide de la fiche technique fournie en annexe, et des mesures de viscosité et de densité obtenues, déterminer de quelle huile il s'agit.

4. Analyse du mouvement de la petite bille

➤ Déterminer la viscosité de l'huile de silicone en exploitant le fichier vidéo de la petite bille à l'aide du logiciel Tracker (voir fiche pratique en annexe).

Remarque : la détermination de la viscosité d'un fluide à l'aide d'un viscosimètre à chute de bille est très connue et encore utilisée pour la mesure de viscosité de fluides newtonien. Elle s'apparente à une capacité exigible du programme : « *Proposer un protocole expérimental de mesure de frottements fluides.* »

On remarquera, que l'exploitation de ce protocole est basée sur la mesure de la vitesse limite de la chute d'un corps en présence de frottements fluides.

Ce qu'il faut retenir

Effectuer sur votre cahier de laboratoire un bilan de TP résumant :

- ★ les propriétés physiques qui ont été mises en évidence,
- ★ les lois physiques qui ont été démontrées ou utilisées,
- ★ les nouvelles fonctions des différents appareils auxquelles vous avez fait appel. Pour ces dernières, préciser leur rôle et les moyens de les activer.