

# Étude de la chute d'une bille en fluide visqueux

## Capacités exigibles

- Choisir de façon cohérente la fréquence d'échantillonnage et la durée totale d'acquisition.
- Évaluer, par comparaison à un étalon, une longueur (ou les coordonnées d'une position) sur une image numérique et en estimer la précision.
- 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.

## Objectifs

- ◊ Reconnaître si le mouvement du centre d'inertie est rectiligne uniforme ou non.
- ◊ Reconnaître le régime transitoire et le régime permanent. Déterminer la vitesse limite.
- ◊ Évaluer le temps caractéristique  $\tau$  par deux méthodes.
- ◊ Trouver un ordre de grandeur de la viscosité  $\eta$  de l'huile de silicone.

## I S'approprier

Une éprouvette contenant un liquide visqueux sert de support à l'étude de la chute d'une bille d'acier. La bille, qui constitue le système matériel étudié, est lâchée sans vitesse initiale à l'instant  $t = 0$ .

Le système d'acquisition vidéo est assuré par une *webcam* couplée à un ordinateur et réglée de manière à enregistrer 20 images par seconde. La position instantanée  $y$  du centre de gravité G de la bille est repérée par l'axe vertical ( $Oy$ ) orienté vers le bas, de vecteur unitaire  $\vec{u}_y$ .

### Matériel TP18.1 :

- ◊ Éprouvette contenant l'huile de silicone et des billes
- ◊ Webcam
- ◊ Ordinateur et logiciel Latispro
- ◊ Chronomètre

### Données TP18.1 :

- ◊ Bille orange :  $R = 1,0 \text{ cm}$  et  $m = 10,4 \text{ g}$ .
- ◊ Masse volumique de l'huile de silicone :  $\rho_0 = 970 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- ◊  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .

## II Analyser

On étudie le mouvement de translation d'une bille de rayon  $R$  et de masse volumique  $\rho$  dans de l'huile de silicone de viscosité  $\eta$ . On admettra que les actions de frottement exercées par le liquide sur la bille en mouvement à la vitesse  $\vec{v}$  sont modélisables par une force de frottement  $\vec{f}$  telle que

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

On dépose la bille en O sans vitesse initiale dans l'huile de silicone contenue dans une grande éprouvette. On exprimera toutes les expressions littérales en fonction de  $\rho_0$ ,  $\eta$ ,  $R$ ,  $m$  et  $g$ .

- ① Donner les caractéristiques de la poussée d'Archimède  $\vec{\Pi}$  exercée sur la bille plongeant dans l'huile de silicone.
- ② Faire le bilan des forces exercées sur la bille plongeant dans l'huile de silicone en précisant le référentiel de travail.
- ③ Établir l'équation différentielle que vérifie la valeur de la vitesse  $\vec{v}$  du centre d'inertie de la bille, sous la forme :

$$\frac{dv}{dt} + \frac{6\pi\eta R}{m} v = g \left( 1 - \frac{4\pi\rho_0 R^3}{3m} \right)$$

- ④ Montrer que la vitesse de la bille tend vers une vitesse limite  $v_{\text{limTheo}}$  telle que :

$$v_{\text{limTheo}} = \frac{g}{6\pi\eta R} \left( m - \frac{4\pi\rho_0 R^3}{3} \right)$$

⑤ Donner l'expression de la constante de temps  $\tau_{\text{theo}}$  du mouvement en fonction de  $m$ ,  $\eta$  et  $R$ .

⑥ En déduire la forme de la solution de l'équation différentielle en  $v(t)$ .

### III Réaliser

#### III/A Enregistrement vidéo

##### Expérience TP18.1 : Préréglages de la webcam et de la prise de vue

1) Ouvrir le logiciel Amcap3 dans Bureau → Programmes Physique Chimie → Amcap3.

2) Dans le menu Options :

- ◊ Preview, pour visualiser ce qu'on voit dans la caméra. Régler la distance caméra-éprouvette pour voir uniquement la moitié supérieure de l'éprouvette. Le trait noir sur l'éprouvette aide à régler l'horizontal de la caméra. Régler l'objectif de la caméra pour que l'image soit nette (faire le point sur l'éprouvette).
- ◊ Video capture pin : taille de sortie choisir, 640\*360. Fréquence image : 20. Format : MJPG. → Appliquer → OK.
- ◊ Video capture filter : luminosité, netteté et contraste en positions intermédiaires. → Appliquer → OK.

3) Puis dans le menu Capture :

- ◊ Set Frame Rate : nombre d'images par seconde : 20. → Cocher : use → OK.
- ◊ Set time limit : 5s → Cocher : use → OK.
- ◊ Start capture : dossier élève : choisir où vous mettez vos dossiers.

##### Expérience TP18.2 : Enregistrement de la vidéo

Aller sur : Capture ; Start Capture : Cliquer sur OK, puis lâcher la bille juste après.

##### Expérience TP18.3 : Traitement vidéo de la chute de la bille

1) Ouvrir le logiciel Latispro dans programmes → discipline → physique-chimie → Eurosmart.

2) Cliquer sur la 5<sup>e</sup> icône : lecture de séquence AVI (ressemblant à Google chrome).

3) Fichiers → ouvrir le fichier avi.

4) Revenir à zéro pour exploiter (4<sup>e</sup> icône en bas).

5) Grâce à >, choisir le début de la vidéo à exploiter (première image quand la bille commence à descendre).

6) Puis cliquer sur sélection de l'origine et pointer la bille, grâce à la loupe à droite.

7) Sélection de l'étalon : sélection de haut en bas sur la partie visible de l'éprouvette.

8) Indiquer la distance associée (ne pas mettre l'unité qui est le m). → correspond à la hauteur de l'éprouvette graduée.

9) Sens des axes : . Sélection manuelle des points.

10) Viser la cible et pointer grâce au zoom à droite : pointer alors ainsi une quarantaine de positions de la bille.

##### Attention

Il faut **absolument** prendre plusieurs points pendant que la balle ne bouge pas ; vous choisissez de couper les points inutiles plus tard.

11) Terminer la sélection manuelle, quand il y a assez de points.

12) Fermer la fenêtre. Pour exploiter, cliquer sur le signal sinusoïdal vert. Icône : .

##### Attention

Il faut **absolument** sauvegarder votre travail régulièrement, Latis Pro est très prompt à **complètement détruire vos données**.

### III/B Modélisation des données

#### Expérience TP18.4 : Tracé de la vitesse verticale en fonction du temps

- ◊ Traitements : → Calculs spécifiques. → Dérivée. → Faire glisser  $y$  pour obtenir  $v = \frac{dy}{dt}$
- ◊ Pour visualiser  $v = f(t)$ , faire glisser la fonction  $v$  sur le graphe. On affichera uniquement les points sans les relier.

#### Expérience TP18.5 : Modélisation de la vitesse

- ◊ Cliquer modéliser.
- ◊ Choisir le modèle sous forme  $A(1 - e^{-t/\tau})$  (forme théorique attendue pour la loi de vitesse d'après la partie s'approprier). On forcera  $V_0 = 0$  sur le modèle. Le calculer.
- ◊ Le glisser sur la courbe en superposition.
- ◊ Pour afficher la modélisation : Copier dans le presse papier → Fermer → Créer un commentaire → Coller après avoir choisi une fenêtre.

## IV Valider et conclure

### IV/A Détermination de la vitesse limite

- 1 Imprimer la courbe, puis déterminer la valeur expérimentale de la vitesse limite.

### IV/B Détermination de la constante de temps $\tau$ par deux méthodes

#### IV/B) 1 Utilisation du temps de montée

- 7 Quelle est la valeur de la vitesse (en pourcentage de la vitesse limite  $v_{lim}$ ) lorsque  $t = \tau$ ? En déduire une méthode de détermination de  $\tau$  (qui est celle du cours).

- 2 Relever  $\tau_{exp1}$ .

#### IV/B) 2 Utilisation de la modélisation de la vitesse

- 3 Déduire de la modélisation de la vitesse l'ordre de grandeur de la constante de temps  $\tau_{exp2}$ , disponible dans la fenêtre de modélisation.
- 4 Calculer l'écart normalisé entre les deux valeurs expérimentales de  $\tau$ . Conclure et discuter des limites de la mesure.

### IV/C Détermination de la viscosité $\eta$ de l'huile de silicone

- 5 Grâce à l'étude théorique de la partie S'approprier et à la valeur moyenne de  $\tau_{exp}$ , déterminer la valeur expérimentale de la viscosité  $\eta_{exp}$  en précisant son unité et son incertitude (revoir la fiche incertitudes). Réexprimer son unité en utilisant des Pa.
- 6 La valeur théorique de la viscosité est  $\eta_{theo} = [0,32 ; 0,35]$  SI. L'écrire sous forme de valeur centrale  $\pm$  son incertitude. Comparer alors votre résultat expérimental avec la valeur théorique à l'aide d'un écart normalisé.

### IV/D Détermination plus rapide de la vitesse limite sans enregistrement vidéo

- 7 Justifier que le régime transitoire ait une durée négligeable devant la durée totale de chute de la bille.
- 8 Proposer alors puis réaliser un protocole expérimental (sans enregistrement) qui permettrait de déterminer la vitesse limite en répétant les mesures 5 à 6 fois.
- 9 Partagez vos résultats de mesure avec le reste de la classe.

- [10] En déduire une nouvelle valeur de  $v_{\text{lim}}$ , en tenant compte de vos différents mesurages et de ceux des autres groupes de la classe. Vous présenterez le résultat avec l'incertitude de type A.
- [11] Comparer à la valeur trouvée avec la modélisation.