



# Chute d'une bille dans l'huile

## Baccalauréat de mai 2022 – exercice 1 du sujet de métropole

### ■ Physique-Chimie : mouvements et interactions

- Citer et exploiter la relation entre les coordonnées du vecteur-vitesse et celles du vecteur-accélération.
- Citer et exploiter les lois de Newton.
- Établir l'expression de la vitesse en régime permanent lorsqu'il existe des forces de frottement fluide.
- Modéliser un mouvement vertical avec frottement visqueux :
  - établir l'équation différentielle vérifiée par la vitesse ;
  - caractériser le régime permanent ;
  - identifier le temps caractéristique ;
  - établir la loi horaire d'évolution de la vitesse.
- Exploiter des résultats expérimentaux pour identifier le régime permanent et estimer le temps caractéristique.

### ■ Mathématiques : équations différentielles

- Vérifier qu'une fonction donnée est solution d'une équation différentielle.
- Déterminer l'ensemble des solutions d'une équation différentielle du type :  $y' = ay + b$ .
- Déterminer la solution d'une équation différentielle du type :  $y' = ay + b$  vérifiant une condition initiale  $y(x_0)$  donnée.

Lorsqu'un objet est lâché dans un fluide (air, eau, etc.), il subit, outre son poids et la poussée d'Archimède, des forces de frottement fluide. La modélisation de ces forces de frottement fluide conduit à considérer que :

- lorsque la vitesse de l'objet  $v$  est « faible », l'intensité des forces de frottement fluide est proportionnelle à  $v$  ;
- lorsque la vitesse de l'objet  $v$  est « élevée », l'intensité des forces de frottement fluide est proportionnelle à  $v^2$  .

Dans cet exercice, on se propose d'étudier expérimentalement le modèle des forces de frottement fluide dans le cas des faibles vitesses.

### Étude expérimentale

On filme, à l'aide d'une webcam réglée à 50 images par seconde, la chute d'une bille d'acier dans l'huile d'olive contenue dans une éprouvette graduée. La bille est lâchée sans vitesse initiale par un électroaimant dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

La vidéo est ensuite analysée image par image à l'aide d'un logiciel approprié qui permet de repérer la position instantanée du centre G de la bille suivant un axe  $(Oy)$  vertical orienté vers le bas.

La vitesse instantanée à un instant  $t_i$  est alors approchée par la vitesse moyenne entre les instants  $t_i$  et  $t_{i+1}$ . L'évolution, au cours du temps, de la valeur expérimentale de la vitesse  $v$  de la bille est représentée sur le **document réponse DR1 page 14, à rendre avec la copie.**

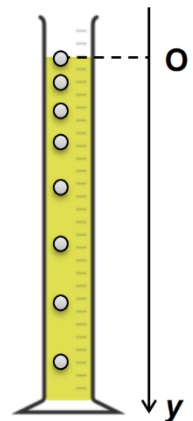
### Données :

- Intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- Masse de la bille :  $m = 4,1 \text{ g}$
- Rayon de la bille :  $R = 5,0 \text{ mm}$
- Masse volumique de l'huile à  $20^\circ\text{C}$  :  $\rho_{\text{huile}} = 920 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- Viscosité de l'huile à  $20^\circ\text{C}$  :  $\eta = 0,39 \text{ Pa} \cdot \text{s}$
- Volume d'une sphère :  $V = \frac{4}{3} \pi \times R^3$

1. Déterminer graphiquement, en ajoutant les traits de construction utiles sur le **document réponse DR1 page 14, à rendre avec la copie** :

- la valeur de la vitesse limite  $v_{\text{lim}}$  atteinte par la bille ;
- le temps caractéristique  $\tau$  d'évolution de la vitesse.

### Chronophotographie de la chute de la bille



**Étude théorique du mouvement de la bille**

On étudie le mouvement du système « bille », plongée dans l'huile, dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Lors de sa chute, la bille est soumise à plusieurs actions mécaniques :

- son poids  $\vec{P}$  ;
  - la poussée d'Archimède, notée  $\vec{\Pi}$ , de sens contraire à celui du poids et d'expression  $\vec{\Pi} = -\rho_{\text{huile}} V_{\text{lim}} \vec{g}$  où  $\rho_{\text{huile}}$  est la masse volumique de l'huile en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,  $V_{\text{lim}}$  le volume immergé de l'objet en  $\text{m}^3$  et  $g$  l'intensité de la pesanteur en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$  ;
  - la force de frottement  $\vec{f}$  de l'huile sur la bille, que l'on suppose ici proportionnelle à la vitesse de chute de la bille avec  $\vec{f} = -6\pi\eta R \vec{v}$  où  $\eta$  est la viscosité de l'huile en  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ,  $R$  le rayon de la bille en  $\text{m}$  et  $v$  la vitesse de la bille en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ .
2. Écrire l'expression vectorielle de la seconde loi de Newton appliquée au système « bille ».
  3. Par projection de l'expression vectorielle de la seconde loi de Newton sur l'axe  $(Oy)$ , établir l'équation différentielle vérifiée par la vitesse  $v$  de la bille.  
Écrire cette équation différentielle sous la forme :

$$\frac{dv}{dt} = A \times v + B$$

et exprimer les coefficients  $A$  et  $B$  en fonction de  $m$ ,  $g$ ,  $\rho_{\text{huile}}$ ,  $\eta$  et  $R$ .

4. À l'aide des données, poser explicitement les calculs qui permettraient de déterminer la valeur numérique du coefficient  $A$  en  $\text{s}^{-1}$  et celle du coefficient  $B$  en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ . Les applications numériques ne sont pas à réaliser.

Pour établir l'expression de la vitesse de la bille, les données physiques de l'expérience conduisent à résoudre l'équation différentielle (E) :  $y' = -9y + 8,6$ .

5. Déterminer la fonction solution de l'équation différentielle (E) s'annulant en 0.
6. Montrer que la limite de  $0,96(1 - e^{-9t})$  lorsque  $t$  tend vers  $+\infty$  est égale à 0,96.

Dans le contexte de l'expérience, on prendra, pour exprimer la vitesse de la bille en fonction du temps  $t$ , la fonction  $v$  définie sur  $[0 ; 0,8]$  par  $v(t) = 0,96(1 - e^{-9t})$ . La vitesse de la bille est exprimée en  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  et le temps  $t$  est exprimé en secondes.

7. Expliquer en quoi la comparaison de la valeur obtenue à la question 6 aux résultats de l'étude expérimentale fournit un argument en faveur du choix du modèle des forces de frottement fluide effectué en début d'exercice.

**ANNEXE :****Évolution de la vitesse de la bille au cours du temps**