Les lois de Newton

Bac S 2008 Asie (ancien programme) · Exercice 1 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

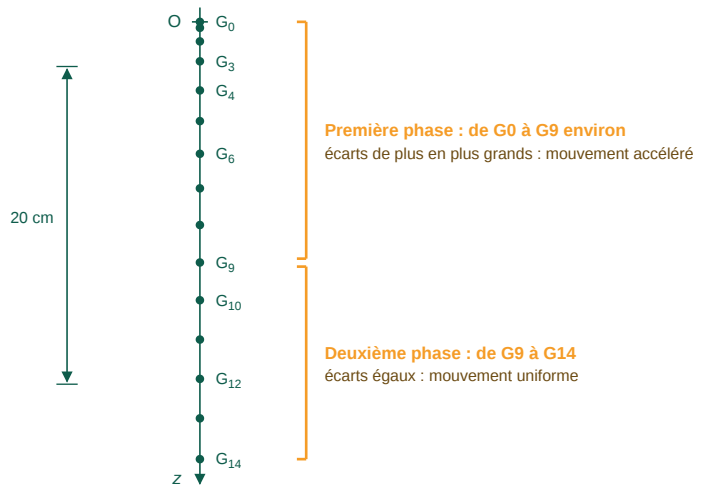
1 Délimiter les deux phases du mouvement de chute en précisant approximativement les positions limites de chacune.

Les positions sont relevées à intervalles de temps égaux : l'écart entre deux points voisins indique la vitesse.

- De G_0 à G_9 environ, cet écart grandit d'un point au suivant : la vitesse augmente.
- De G_9 environ à G_{14}, cet écart ne change plus (environ 1,0 cm sur le document) : la vitesse est constante.

Première phase : de G_0 à G_9 environ ; deuxième phase : de G_9 à G_{14}.

COMPRENDRE
Le passage d'une phase à l'autre est progressif : placer la limite en G_8, G_9 ou G_{10} est accepté, la question demande une position approximative.



1 · Annexe : les deux phases du mouvement

2.1.1 En tenant compte de l'échelle du document, calculer les vitesses en G_3 et G_5, puis tracer les vecteurs vitesse en ces positions (1 cm pour $0{,}20\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Données utiles $\tau = 0{,}050$ s ; la double flèche « 20 cm » mesure 8,0 cm sur le document

Échelle : 8,0 cm sur le document représentent 20 cm, donc 1 cm mesuré correspond à $\frac{20}{8{,}0} = 2{,}5$ cm réels.

La vitesse en G_3 est la vitesse moyenne entre les deux positions qui l'encadrent : $v_3 = \frac{G_2G_4}{2\tau}$.

Mesures : $G_2G_4 = 1{,}2$ cm et $G_4G_6 = 1{,}6$ cm sur le document.

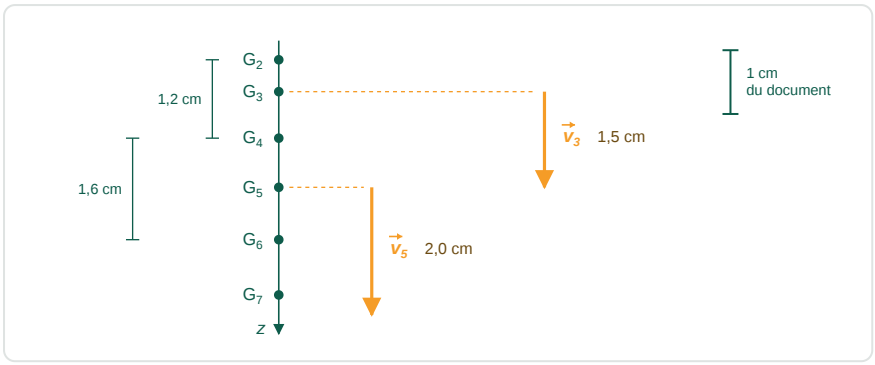
$$v_3 = \frac{2{,}5 \times 1{,}2 \times 10^{-2}}{2 \times 0{,}050} = 0{,}30\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \qquad v_5 = \frac{G_4G_6}{2\tau} = \frac{2{,}5 \times 1{,}6 \times 10^{-2}}{2 \times 0{,}050} = 0{,}40\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Tracé : vecteurs verticaux, vers le bas, d'origines G_3 et G_5, de longueurs $\frac{0{,}30}{0{,}20} = 1{,}5$ cm et $\frac{0{,}40}{0{,}20} = 2{,}0$ cm.

$v_3 = 0{,}30\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (flèche de 1,5 cm) ; $v_5 = 0{,}40\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (flèche de 2,0 cm)

PIÈGE
Diviser par τ au lieu de 2τ, ou oublier l'échelle : les longueurs mesurées à la règle ne sont pas les distances réelles.

COMPRENDRE
Les longueurs sont lues au millimètre, avec deux chiffres significatifs : les vitesses en gardent deux.



2.1.1 · Annexe complétée (agrandie) : vecteurs vitesse en G3 et G5, décalés vers la droite pour la lisibilité

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{20}{8.0}$ ≈ 2.5

$\frac{2.5 \times 1.2 \times 10^{-2}}{2 \times 0.050}$ ≈ 0.3

$\frac{2.5 \times 1.6 \times 10^{-2}}{2 \times 0.050}$ ≈ 0.4

2.1.2 Calculer l'accélération a_4 au point G_4, puis tracer le vecteur accélération en ce point (1 cm pour $0{,}50\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$).

Données utiles $v_3 = 0{,}30\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $v_5 = 0{,}40\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (2.1.1) ; $\tau = 0{,}050\ \text{s}$

Le vecteur accélération en G_4 est la variation du vecteur vitesse entre G_3 et G_5, divisée par la durée : $\vec{a}_4 = \dfrac{\vec{v}_5 - \vec{v}_3}{2\tau}$.

Les deux vitesses sont verticales et vers le bas, donc $\vec{a}_4$ aussi, et :

$$a_4 = \frac{v_5 - v_3}{2\tau} = \frac{0{,}40 - 0{,}30}{2 \times 0{,}050} = 1{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Tracé : vecteur vertical, vers le bas, d'origine G_4, de longueur $\dfrac{1{,}0}{0{,}50} = 2{,}0$ cm.

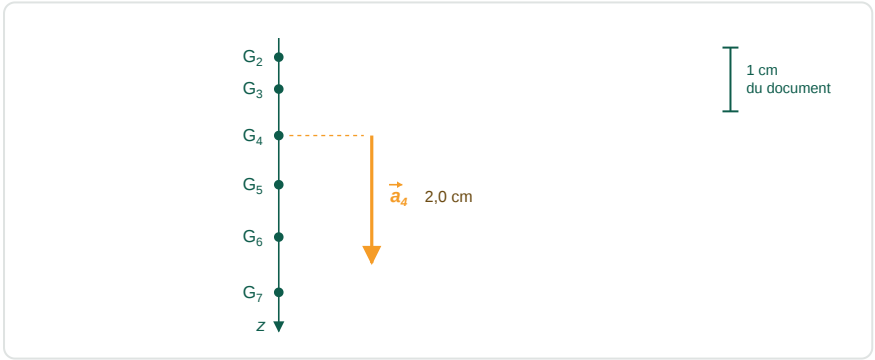
$a_4 = 1{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, vecteur vertical vers le bas (flèche de 2,0 cm)

COMPRENDRE
a_4 vient de la différence de deux vitesses proches : un écart de 1 mm sur une seule longueur mesurée la modifie de $0{,}25\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. La valeur obtenue reste donc peu précise.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.40 - 0.30}{2 \times 0.050}$ ≈ 1



2.1.2 · Annexe complétée (agrandie) : vecteur accélération en G4, décalé vers la droite pour la lisibilité

2.2.1 Calculer la valeur de la poussée d'Archimède et montrer qu'elle est de l'ordre de grandeur du poids.

Données utiles $m = 3{,}80 \times 10^{-3}\ \text{kg}$; $V = 2{,}10 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$; $\rho = 1240\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

La poussée d'Archimède a pour valeur le poids du liquide déplacé par l'objet entièrement immergé :

$$\Pi = \rho\, V\, g = 1240 \times 2{,}10 \times 10^{-6} \times 9{,}8 = 2{,}6 \times 10^{-2}\ \text{N}$$

Poids de l'objet : $P = m\,g = 3{,}80 \times 10^{-3} \times 9{,}8 = 3{,}7 \times 10^{-2}$ N.

$\dfrac{P}{\Pi} = \dfrac{m}{\rho V} \approx 1{,}5$: les deux forces valent quelques 10^{-2} N.

$\Pi = 2{,}6 \times 10^{-2}$ N, du même ordre de grandeur que $P = 3{,}7 \times 10^{-2}$ N : elle n'est pas négligeable.

PIÈGE
Utiliser la masse volumique de l'objet : dans $\Pi = \rho V g$, ρ est celle du liquide et V le volume immergé.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1240 \times 2.10 \times 10^{-6} \times 9.8$
≈ 0.0255192

$3.80 \times 10^{-3} \times 9.8$
≈ 0.03724

$\dfrac{3.80 \times 10^{-3}}{1240 \times 2.10 \times 10^{-6}}$
≈ 1.459293

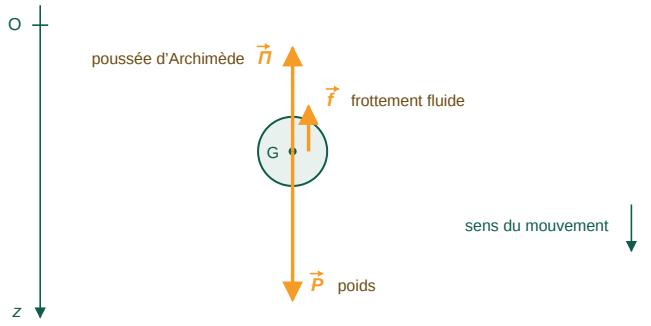
2.2.2 Représenter les forces sur un schéma, sans souci d'échelle.

Système : l'objet. Trois forces s'exercent sur lui, toutes verticales :

- le poids $\vec{P}$, vers le bas ;
- la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$, vers le haut ;
- le frottement $\vec{f}$ exercé par le liquide, opposé à la vitesse, donc vers le haut.

Schéma : $\vec{P}$ vers le bas, $\vec{\Pi}$ et $\vec{f}$ vers le haut, tracées à partir de G.

COMPRENDRE
L'objet accélère vers le bas pendant la première phase : la flèche du poids doit être plus longue que les deux autres réunies.



2.2.2 · Forces exercées sur l'objet pendant la chute (sans souci d'échelle)

2.3 Énoncer la loi de Newton qui régit cette première phase.

Le mouvement est accéléré : c'est la deuxième loi de Newton qui s'applique.

Dans un référentiel galiléen, la somme vectorielle des forces extérieures qui s'exercent sur un système de masse m constante est égale au produit de m par l'accélération $\vec{a}_G$ du centre d'inertie de ce système.

$$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}_G$$

COMPRENDRE
Le programme actuel parle de « centre de masse » plutôt que de « centre d'inertie » : c'est le même point G.

2.4 En utilisant l'axe Oz de la figure, calculer la valeur de la force de frottement en position G_4.

Données utiles $a_4 = 1{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ (2.1.2) ; $m = 3{,}80\times10^{-3}$ kg ; $V = 2{,}10\times10^{-6}\ \text{m}^3$; $\rho = 1240\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Système : l'objet ; référentiel du laboratoire, supposé galiléen.
Deuxième loi de Newton :

$$\vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{f} = m\,\vec{a}$$

Projection sur l'axe Oz, orienté vers le bas, en G_4 : $mg - \rho V g - f = m\,a_4$

$$f = mg - \rho V g - m\,a_4$$

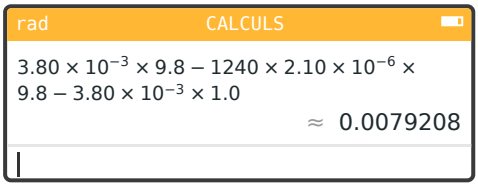
$$f = 3{,}80\times10^{-3}\times9{,}8 - 1240\times2{,}10\times10^{-6}\times9{,}8 - 3{,}80\times10^{-3}\times1{,}0$$

$$\boxed{f = 7{,}9\times10^{-3}\ \text{N}}$$

PIÈGE
Erreur de signe à la projection : l'axe pointe vers le bas, donc seul le poids est compté positivement ; $\vec{\Pi}$ et $\vec{f}$ donnent $-\Pi$ et $-f$.

MÉTHODE
Système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi écrite en vecteurs, puis projection sur l'axe : isoler l'inconnue avant de passer aux nombres.

À LA CALCULATRICE



2.5 Sachant que la vitesse en G_4 vaut $v_4 = 0{,}32\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, calculer le coefficient de frottement k en unité du système international.

Données utiles $f = 7{,}9\times10^{-3}$ N (2.4) ; $v_4 = 0{,}32\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

La valeur du frottement est proportionnelle à la vitesse : $f = k\,v$, donc en G_4 :

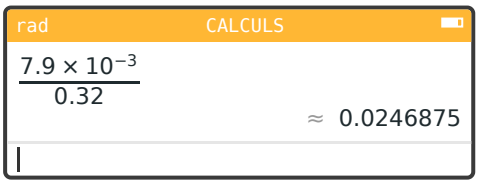
$$k = \frac{f}{v_4} = \frac{7{,}9\times10^{-3}}{0{,}32} = 2{,}5\times10^{-2}\ \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$$

Unité : $\dfrac{\text{N}}{\text{m}\cdot\text{s}^{-1}} = \dfrac{\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}}{\text{m}\cdot\text{s}^{-1}} = \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

$$\boxed{k = 2{,}5\times10^{-2}\ \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}}$$

COMPRENDRE
Sur le document, $G_3G_5 \approx 1{,}5$ cm donnerait $v_4 \approx 0{,}38\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. L'énoncé impose $0{,}32\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: c'est cette valeur qu'il faut utiliser.

À LA CALCULATRICE



3.1 Quelle est la nature de la deuxième phase ?

Les positions sont alignées sur une verticale et régulièrement espacées : la vitesse garde la même direction, le même sens et la même valeur.

Le mouvement est rectiligne uniforme : l'objet a atteint sa vitesse limite.

3.2 Énoncer la loi de Newton qui régit cette phase.

C'est la première loi de Newton (principe d'inertie).

Dans un référentiel galiléen, si les forces extérieures appliquées à un système ont une somme vectorielle nulle, alors son centre d'inertie est immobile ou animé d'un mouvement rectiligne uniforme ; la réciproque est vraie.

$\sum \vec{F}_{\text{ext}} = \vec{0} \iff \vec{v}_G$ est un vecteur constant

PIÈGE
Écrire « aucune force ne s'exerce sur l'objet » : les trois forces sont toujours présentes, c'est leur somme qui est nulle.

3.3 Déterminer, par le calcul, la vitesse de l'objet au cours de cette phase.

Données utiles $k = 2{,}5 \times 10^{-2}\ \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.5) ; $m = 3{,}80 \times 10^{-3}\ \text{kg}$; $V = 2{,}10 \times 10^{-6}\ \text{m}^3$; $\rho = 1240\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Mouvement rectiligne uniforme, donc $\vec{P} + \vec{\Pi} + \vec{f} = \vec{0}$.

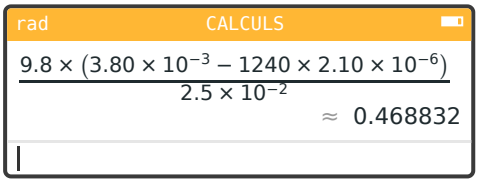
Projection sur Oz, avec $f = k\,v_{\text{lim}}$: $\quad mg - \rho V g - k\,v_{\text{lim}} = 0$

$$v_{\text{lim}} = \frac{g\,(m - \rho V)}{k} = \frac{9{,}8 \times (3{,}80 \times 10^{-3} - 1240 \times 2{,}10 \times 10^{-6})}{2{,}5 \times 10^{-2}}$$

$v_{\text{lim}} = 0{,}47\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Le frottement augmente avec la vitesse jusqu'à compenser exactement $P - \Pi$: l'accélération s'annule et la vitesse ne peut plus croître.

À LA CALCULATRICE



3.4 Retrouver cette vitesse à partir du document en utilisant le point G_{13}.

Données utiles échelle : 1 cm mesuré pour 2,5 cm réels (2.1.1) ; $\tau = 0{,}050$ s ; $v_{\text{lim}} = 0{,}47\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (3.3)

Mesure sur le document : $G_{12}G_{14} = 2{,}0$ cm, soit $2{,}5 \times 2{,}0 = 5{,}0$ cm réels.

$$v_{13} = \frac{G_{12}G_{14}}{2\tau} = \frac{5{,}0 \times 10^{-2}}{2 \times 0{,}050} = 0{,}50\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

L'écart avec la valeur calculée est d'environ 6 %, compatible avec la précision des mesures à la règle.

$v_{13} = 0{,}50\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, proche de $v_{\text{lim}} = 0{,}47\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

À LA CALCULATRICE

