Exercice 1 (obligatoire) : Le décollage d'un avion catapulté

12 points

1) Le mouvement est étudié par rapport au porte-avions : c'est le **référentiel lié au porte-avions** (qu'on peut considérer comme terrestre pendant la courte durée du catapultage).

2) Entre P_1 et P_6, il y a 5 intervalles de temps égaux pour une durée totale de $2{,}0\,\text{s}$:

$$\Delta t = \frac{2{,}0\,\text{s}}{5} = \boxed{0{,}40\,\text{s}}$$

3) *Échelle du schéma* : on mesure $P_1P_6 = 15{,}0\,\text{cm}$ sur le schéma pour $75\,\text{m}$ en réalité, donc $1{,}0\,\text{cm}$ sur le schéma représente $\dfrac{75}{15{,}0} = 5{,}0\,\text{m}$.

On mesure $P_3P_4 = 3{,}0\,\text{cm}$ sur le schéma, d'où la distance réelle :

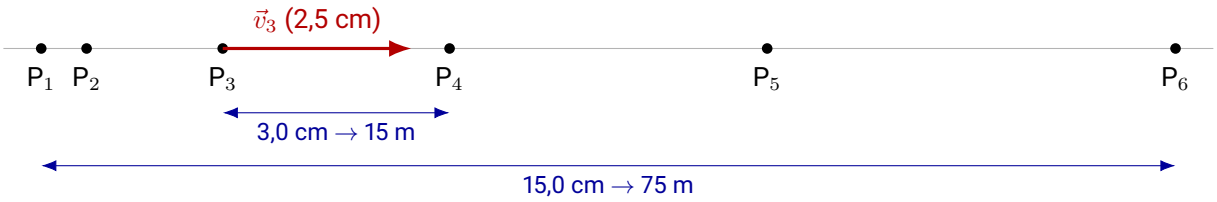
$$d = 3{,}0 \times 5{,}0\,\text{m} = \boxed{15\,\text{m}}$$

4) La vitesse au point P_3 est approchée par la vitesse moyenne entre P_3 et P_4 :

$$v_3 \approx \frac{P_3P_4}{\Delta t} = \frac{15\,\text{m}}{0{,}40\,\text{s}} = 37{,}5\,\text{m·s}^{-1} \approx \boxed{38\,\text{m·s}^{-1}}$$

5) Le vecteur vitesse $\vec{v}_3$ a pour origine P_3, pour direction la droite du mouvement, pour sens celui du mouvement (vers P_4), et pour longueur :

$$\ell = \frac{37{,}5\,\text{m·s}^{-1}}{15\,\text{m·s}^{-1}} \times 1\,\text{cm} = \boxed{2{,}5\,\text{cm}}$$



6) Sur des durées égales Δt, les distances parcourues augmentent ($P_1P_2 < P_2P_3 < P_3P_4 < \ldots$) : la vitesse de l'avion augmente, son mouvement est **rectiligne accéléré**, et non rectiligne uniforme.

Or, d'après le **principe d'inertie**, si les forces qui s'exercent sur un système se compensaient, il serait immobile ou en mouvement rectiligne uniforme. Par contraposée, comme le mouvement de l'avion n'est pas rectiligne uniforme, **les forces qui s'exercent sur l'avion ne se compensent pas** (la traction du câble l'emporte sur les frottements).

Exercice 2 (au choix) : L'équilibre d'une bille d'acier

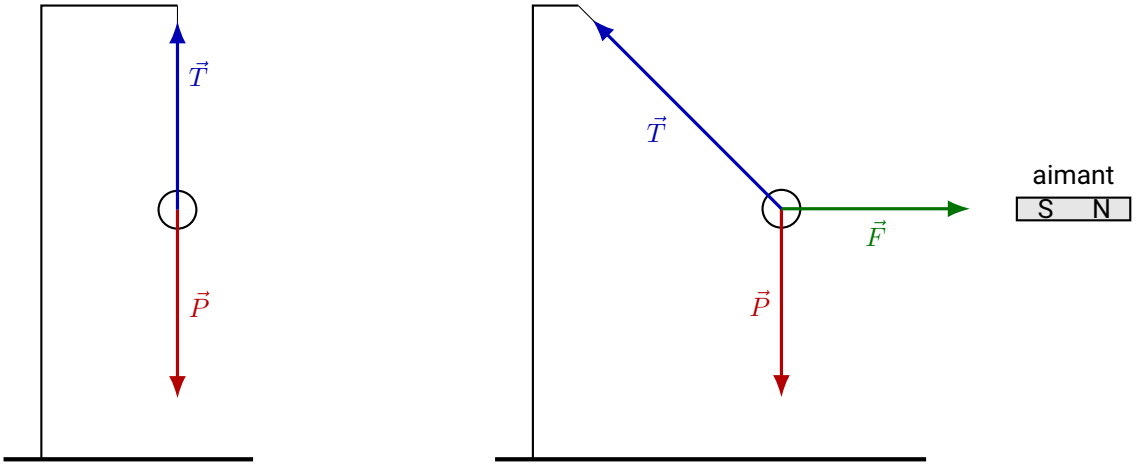
8 points

1) *Système* : la bille ; référentiel terrestre.

- **Situation 1** : deux forces : le poids $\vec{P}$, action de la Terre (**à distance**) ; la tension du fil $\vec{T}$, action du fil (**de contact**).
- **Situation 2** : trois forces : le poids $\vec{P}$ (à distance) ; la tension du fil $\vec{T}$ (de contact) ; la force exercée par l'aimant $\vec{F}$, action magnétique (**à distance**).

2) La bille est immobile dans le référentiel terrestre. D'après le principe d'inertie, les forces qui s'exercent sur elle **se compensent** : leur somme vectorielle est nulle.

- **Situation 1** : $\vec{P}+\vec{T}=\vec{0}$: $\vec{T}$ est verticale, vers le haut, de même valeur que le poids, $T = P = 1{,}5\,\text{N}$. Avec l'échelle $5\,\text{cm}$ pour $3\,\text{N}$, chaque flèche mesure $\dfrac{1{,}5\times 5}{3} = \boxed{2{,}5\,\text{cm}}$.
- **Situation 2** : $\vec{P}+\vec{T}+\vec{F}=\vec{0}$. $\vec{F}$ est horizontale, vers l'aimant ; comme le fil est incliné de $45°$, $F = P = 1{,}5\,\text{N}$: flèche de $\boxed{2{,}5\,\text{cm}}$. La somme $\vec{P}+\vec{F}$, de deux vecteurs perpendiculaires de même longueur $2{,}5\,\text{cm}$, est la diagonale d'un carré ; $\vec{T}$ lui est opposée, donc dirigée selon le fil à $45°$ vers le point d'attache, de longueur $2{,}5\sqrt{2} \approx \boxed{3{,}5\,\text{cm}}$ (soit $T \approx 2{,}1\,\text{N}$).

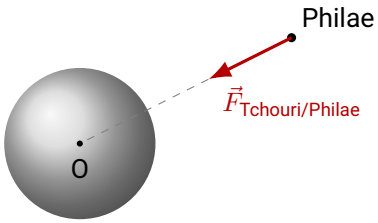


Situation 1 — Situation 2

Exercice 3 (au choix) : Philae se pose sur la comète Tchouri

8 points

1) La force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{\text{Tchouri/Philae}}$ a pour point d'application Philae, pour direction la droite qui joint Philae au centre O de la comète, et elle est dirigée **vers le centre de la comète** (force attractive).



2) Un objet est en **chute libre** lorsqu'il n'est soumis qu'à son poids, ici la seule attraction gravitationnelle de la comète (pas de frottement : il n'y a pratiquement pas d'atmosphère).

3) Le poids de Philae posé sur Tchouri est la force d'attraction gravitationnelle exercée par Tchouri, à la distance R_{Tch} de son centre :

$$P_{\text{Philae}} = G\,\frac{M_{\text{Tch}}\,m}{R_{\text{Tch}}^2} = 6{,}67\times10^{-11}\,\text{N·m}^2\text{·kg}^{-2}\times\frac{1{,}0\times10^{13}\,\text{kg}\times100\,\text{kg}}{(2{,}0\times10^{3}\,\text{m})^2} \approx \boxed{1{,}7\times10^{-2}\,\text{N}}$$

4) Sur Terre, le poids d'un objet de masse m_{C} est $P = m_{\text{C}}\,g_{\text{Terre}}$. On veut $m_{\text{C}}\,g_{\text{Terre}} = P_{\text{Philae}}$:

$$m_{\text{C}} = \frac{P_{\text{Philae}}}{g_{\text{Terre}}} = \frac{1{,}67\times10^{-2}\,\text{N}}{9{,}81\,\text{N·kg}^{-1}} \approx \boxed{1{,}7\times10^{-3}\,\text{kg}} \quad \text{soit environ } 1{,}7\,\text{g}$$

Sur Tchouri, l'atterrisseur de $100\,\text{kg}$ « pèse » autant qu'un objet de moins de deux grammes sur Terre.

5) L'intensité de la pesanteur à la surface de la comète est extrêmement faible : $g = \dfrac{P_{\text{Philae}}}{m} \approx 1{,}7\times10^{-4}\,\text{N·kg}^{-1}$, près de $60\,000$ fois moins que sur Terre. Philae, presque pas retenu par la comète, est très peu ralenti après le rebond : même à $40\,\text{cm·s}^{-1}$, il monte haut et reste longtemps en l'air avant de retomber, et parcourt donc une très grande distance. (Avec une vitesse un peu plus grande, il aurait même pu échapper à la comète.)