Le badminton, un sport dans le vent

Bac S 2018 Afrique (ancien programme) · Exercice 2 **8 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1 Justifier le fait que le volant n'est pas en chute libre.

Un système est en chute libre lorsque le poids est la seule force qu'il subit.

Ici, en plus de son poids $\vec{P}$, le volant subit la traînée $\vec{F}$ due à l'air, créée par les plumes.

Le volant est soumis à deux forces, $\vec{P}$ et $\vec{F}$: il n'est pas en chute libre.

PIÈGE
« Chute libre » ne veut pas dire « qui tombe ». Un objet lancé vers le haut est en chute libre si le poids agit seul ; il faut donc raisonner sur les forces, pas sur le sens du mouvement.

1.2 Décrire, en première approximation, le mouvement du volant sur la portion AB. Représenter sur l'annexe le vecteur accélération $\vec{a}$ (direction et sens) à la date $t = 100$ ms.

Données utiles $\Delta t = 50$ ms entre deux positions successives

Entre A et B, les cinq positions sont pratiquement alignées : la trajectoire est une droite.

Les positions sont de plus en plus rapprochées alors que la durée Δt entre elles est toujours la même : la vitesse diminue.

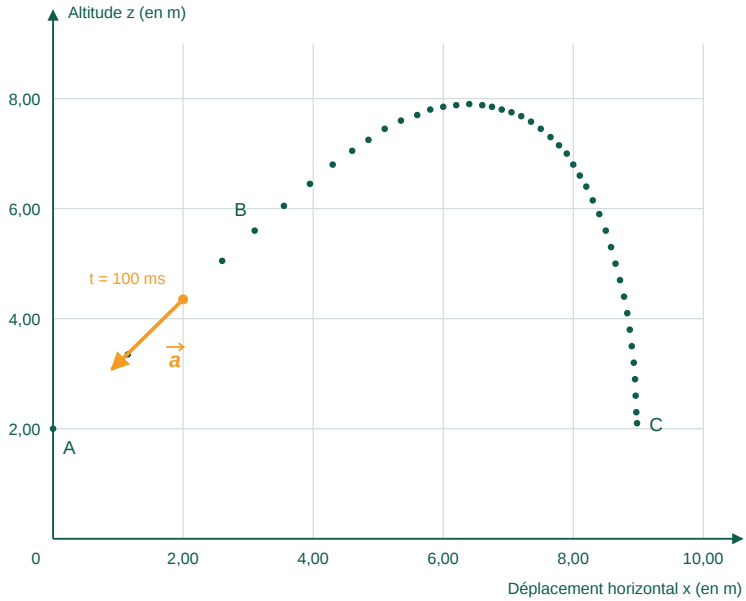
Le point A correspond à $t = 0$; la date $t = 100\ \text{ms} = 2\,\Delta t$ est donc celle de la troisième position.

Pour un mouvement rectiligne ralenti, $\vec{a}$ a la direction de la trajectoire et le sens opposé à celui du mouvement.

Sur AB, le mouvement est rectiligne et ralenti ; $\vec{a}$ est porté par la droite (AB) et orienté de B vers A.

PIÈGE
Tracer $\vec{a}$ vertical vers le bas par réflexe, comme en chute libre. Ici la traînée intervient et $\vec{a} \neq \vec{g}$.

MÉTHODE
Sur une chronophotographie : points alignés, mouvement rectiligne ; écarts qui diminuent, mouvement ralenti. Le vecteur $\vec{a}$ a le sens de $\Delta\vec{v}$: opposé à $\vec{v}$ si le mouvement rectiligne ralentit, identique s'il accélère.



1.2 · Annexe complétée : vecteur accélération à la date t = 100 ms (direction et sens)

1.3 Représenter sur l'annexe, sans souci d'échelle, les forces qui s'exercent sur le volant en un point de la portion AB. Leurs intensités sont-elles du même ordre de grandeur ? Justifier avec la deuxième loi de Newton.

Forces exercées sur le volant :

- le poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
- la traînée $\vec{F}$, opposée au mouvement, donc portée par (AB) et orientée de B vers A.

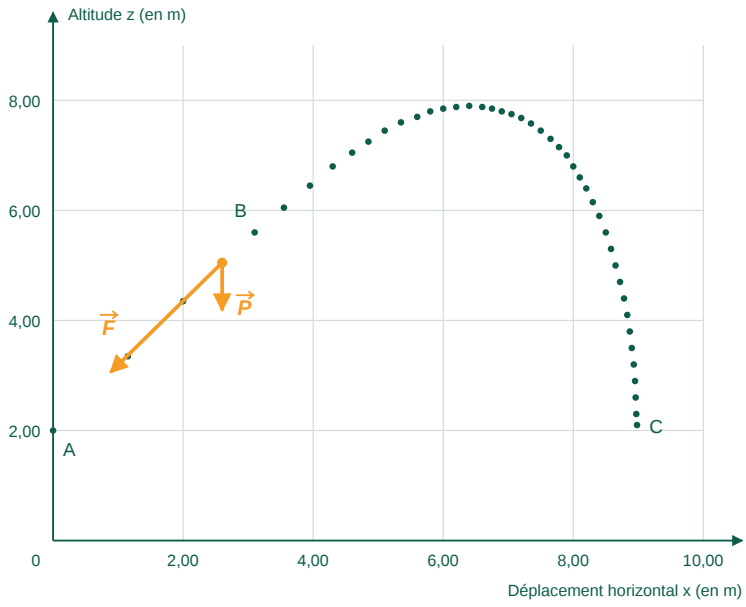
Deuxième loi de Newton appliquée au volant, de masse m constante, dans le référentiel terrestre supposé galiléen :

$$\vec{P} + \vec{F} = m\,\vec{a}$$

D'après 1.2, $\vec{a}$ est porté par (AB), comme $\vec{F}$. La somme $\vec{P} + \vec{F}$ a donc pratiquement la direction de $\vec{F}$: le poids, vertical, ne la dévie presque pas. Ainsi $m\,\vec{a} \approx \vec{F}$.

Les deux forces ne sont pas du même ordre de grandeur : sur AB, F est très supérieure à P.

COMPRENDRE
Si P était comparable à F, la somme des forces pencherait nettement vers le bas et la trajectoire se courberait dès le départ. C'est ce qui se produit plus loin, quand le volant a ralenti et que la traînée a faibli.



1.3 · Annexe complétée : poids et traînée en un point de la portion AB (sans souci d'échelle)

2.1 Identifier, en justifiant, la nature de l'énergie correspondant à chaque courbe.

Courbe 1 : au début du mouvement le volant monte, donc $E_{pp} = m\,g\,z$ augmente. Seule la courbe 1 est croissante au départ : c'est l'énergie potentielle de pesanteur.

Courbe 3 : le volant ralentit fortement sur AB, donc $E_c = \frac{1}{2}\,m\,v^2$ décroît rapidement. Les courbes 2 et 3 décroissent, mais $E_m = E_c + E_{pp}$ avec $E_{pp} > 0$: E_m est toujours au-dessus de E_c. La courbe 3, située sous la courbe 2, est l'énergie cinétique.

Courbe 1 : E_{pp} ; courbe 2 : E_m ; courbe 3 : E_c.

MÉTHODE
Pour départager trois courbes d'énergie : E_{pp} varie comme l'altitude, E_c comme la vitesse, et E_m est la somme des deux, donc la courbe la plus haute lorsque E_{pp} est positive.

2.2 À partir d'une des trois courbes, calculer en $\mathrm{km \cdot h^{-1}}$ l'ordre de grandeur de la vitesse du volant en B.

Données utiles $m = 5{,}0$ g ; $\Delta t = 50$ ms ; courbe 3 (E_c, 2.1)

B est la cinquième position, A étant à $t = 0$: $t_B = 4\,\Delta t = 4 \times 50 = 200$ ms $= 0{,}20$ s.

Lecture sur le zoom, courbe 3, à $t = 0{,}20$ s : $E_c(B) \approx 2{,}0$ J.

$E_c = \frac{1}{2} m v^2$ donc $v_B = \sqrt{\frac{2\,E_c(B)}{m}}$

$$v_B = \sqrt{\frac{2 \times 2{,}0}{5{,}0 \times 10^{-3}}} = 28 \ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

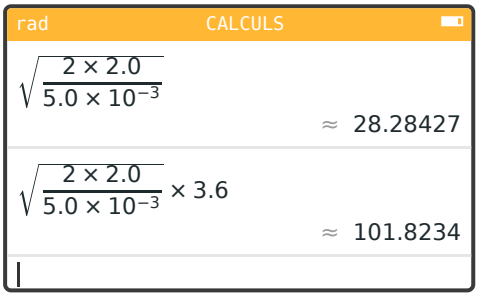
$v_B = 28 \times 3{,}6 = 1{,}0 \times 10^2 \ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$

$v_B \approx 1{,}0 \times 10^2 \ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$: ordre de grandeur $10^2 \ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$.

PIÈGE
Laisser la masse en grammes : avec $m = 5{,}0$ au lieu de $5{,}0 \times 10^{-3}$ kg, la vitesse est divisée par 30 environ. Pour passer des $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ aux $\mathrm{km \cdot h^{-1}}$, on multiplie par 3,6.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme m et la lecture graphique. La courbe 3 est la bonne : E_c donne directement la vitesse, alors que E_m demanderait de retrancher E_{pp}.

À LA CALCULATRICE



2.3 Calculer le travail du poids du volant lors du déplacement de A à B. Commenter le signe du résultat.

Données utiles $m = 5{,}0$ g ; $g = 9{,}8 \ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$; lecture sur l'annexe : $z_A = 2{,}0$ m et $z_B = 5{,}6$ m

Le poids est une force constante : $W_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB}$.

Avec l'axe (Oz) vertical vers le haut, $\vec{P}$ n'a qu'une coordonnée, $-m\,g$ selon (Oz), donc

$$W_{AB}(\vec{P}) = -m\,g\,(z_B - z_A) = m\,g\,(z_A - z_B)$$

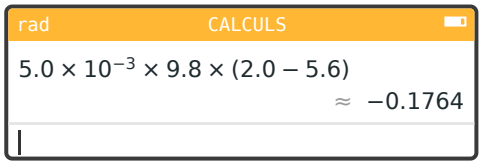
$$W_{AB}(\vec{P}) = 5{,}0 \times 10^{-3} \times 9{,}8 \times (2{,}0 - 5{,}6) = -0{,}18 \ \mathrm{J}$$

Le travail est négatif : il est résistant. Le volant monte de A à B, le poids s'oppose à ce déplacement.

$W_{AB}(\vec{P}) = -0{,}18$ J : travail résistant, car le volant s'élève.

PIÈGE
Utiliser la longueur AB à la place de la différence d'altitude. Le travail du poids ne dépend que de $z_A - z_B$, pas du chemin suivi ni du déplacement horizontal.

À LA CALCULATRICE



2.4 L'énergie mécanique varie au cours du mouvement. Quelle est la cause de cette variation ?

Le poids est une force conservative : à lui seul, il laisserait l'énergie mécanique constante.

La traînée $\vec{F}$ est une force non conservative (frottement de l'air). Opposée au déplacement, elle effectue un travail négatif et la variation d'énergie mécanique lui est égale :

$$\Delta E_m = W(\vec{F}) < 0$$

L'énergie mécanique diminue à cause du travail résistant de la traînée ; l'énergie perdue est dissipée sous forme de chaleur.

COMPRENDRE
La courbe 2 chute surtout au début : la traînée est d'autant plus intense que le volant est rapide, et il parcourt alors une grande distance à chaque intervalle de temps.

3.1 Décrire le mouvement du volant lâché par Thomas Pesquet, dans le référentiel lié à l'ISS puis dans le référentiel géocentrique.

Référentiel lié à l'ISS : le volant est lâché sans vitesse initiale et occupe la même place devant l'astronaute sur les deux images. Il est immobile.

Référentiel géocentrique : immobile dans la station, le volant l'accompagne. Il décrit comme elle un cercle centré sur le centre de la Terre, à vitesse de valeur constante.

> Immobile dans le référentiel de l'ISS ; mouvement circulaire uniforme dans le référentiel géocentrique.

PIÈGE
Décrire un mouvement sans préciser le référentiel n'a pas de sens : le même volant est immobile pour l'astronaute et parcourt plusieurs kilomètres par seconde autour de la Terre.

3.2 Établir l'expression de la valeur de l'accélération de l'ISS dans le référentiel géocentrique, puis la calculer.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ SI ; $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6380$ km ; $h = 400$ km

Système {ISS}, de masse m constante, assimilé à un point ; référentiel géocentrique supposé galiléen.

Seule force : l'attraction gravitationnelle de la Terre, dirigée vers le centre de la Terre. Le rayon de l'orbite est $R_T + h$:

$$F_{T/ISS} = \frac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2}$$

Deuxième loi de Newton : $\vec{F}_{T/ISS} = m\,\vec{a}$, soit en valeur $\dfrac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2} = m\,a$, donc

$$a = \frac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}$$

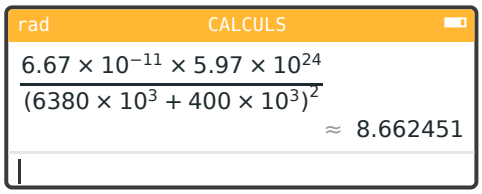
$$a = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{(6380 \times 10^3 + 400 \times 10^3)^2} = 8{,}66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

> $a = \dfrac{G\,M_T}{(R_T+h)^2} = 8{,}66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

PIÈGE
Oublier d'ajouter le rayon terrestre à l'altitude, ou laisser les distances en kilomètres : $R_T + h = 6{,}78 \times 10^6$ m.

COMPRENDRE
À 400 km d'altitude, cette accélération vaut encore près de 90 % de g au sol. L'« apesanteur » ne signifie donc pas que la gravité a disparu.

À LA CALCULATRICE



3.3 Expliquer pourquoi le volant reste près de l'astronaute.

L'expression $a = \dfrac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}$ établie en 3.2 ne contient pas la masse du système. Le même raisonnement s'applique au volant et à l'astronaute, soumis eux aussi à la seule attraction de la Terre et situés à la même altitude.

L'ISS, l'astronaute et le volant ont donc la même accélération dans le référentiel géocentrique. Au moment du lâcher, ils ont aussi la même vitesse. Ils suivent alors le même mouvement autour de la Terre.

> Même accélération et même vitesse initiale : le volant, l'astronaute et la station « tombent » ensemble autour de la Terre, donc le volant reste immobile près de l'astronaute.

COMPRENDRE
Dans la station, l'air est à la pression atmosphérique, mais un volant immobile par rapport à cet air ne subit aucune traînée. Rien ne le met en mouvement par rapport à l'astronaute.