# Apprentissage du saut en parachute

Bac 2021 Centres étrangers Sujet 2 · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

**1** Préciser le niveau d'intensité sonore minimal $L_2$ que doit avoir la conversation pour que le moniteur et son élève s'entendent clairement malgré le bruit de l'avion.

**Données utiles** $L_1 = 82$ dB ; écart minimal entre les deux niveaux : 8 dB

La conversation doit être le son le plus fort : son niveau doit dépasser celui du bruit de l'avion d'au moins 8 dB.

$L_2 = L_1 + 8 = 82 + 8$

$L_2 = 90$ dB

**PIÈGE**
Retrancher 8 dB (74 dB) : c'est alors le bruit de l'avion qui couvre la conversation.

**2** Indiquer, en justifiant, si la gêne occasionnée par le bruit de l'avion impose ou non au moniteur et à son élève de crier.

**Données utiles** $L_2 = 90$ dB (Q1) ; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m$^{-2}$ ; $I_C = 1{,}0 \times 10^{-3}$ W · m$^{-2}$

$L = 10 \log\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$ donne $I = I_0 \times 10^{L/10}$.

Intensité sonore minimale de la conversation :

$$I_2 = I_0 \times 10^{L_2/10} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{90/10} = 1{,}0 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

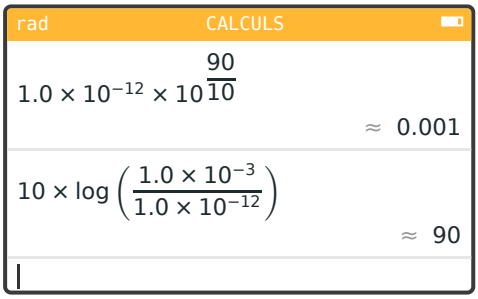
$I_2 = I_C$ : l'intensité nécessaire atteint le seuil à partir duquel on crie.

$I_2 = 1{,}0 \times 10^{-3}$ W · m$^{-2}$ $= I_C$ : le moniteur et son élève doivent crier.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs, comme $I_0$. Autre méthode, aussi valable : le niveau à partir duquel on crie est $L_C = 10 \log(I_C / I_0) = 90$ dB, égal à $L_2$.

**MÉTHODE**
Pour isoler $I$ : diviser par 10, puis utiliser $\log x = a \Leftrightarrow x = 10^a$.

**À LA CALCULATRICE**




**3** Nommer le phénomène physique exploité par la technologie ANR.

Le signal émis dans l'écouteur se superpose au bruit de l'avion, de même fréquence, et l'atténue : les deux ondes sonores interfèrent.

Le casque exploite les **interférences destructives**.

**PIÈGE**
Répondre « interférences » sans préciser « destructives » : la réponse est incomplète.

**4** Représenter sur le document 1 de l'annexe l'allure du signal que doit produire la deuxième enceinte pour « supprimer » le son modélisant le bruit de l'avion.

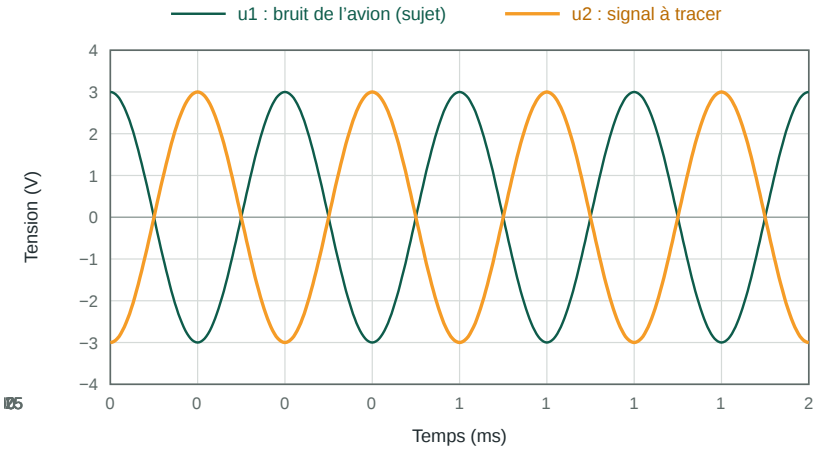
**Données utiles** document 1 : $u_1$ sinusoïdale, amplitude 3 V, période $T = 0{,}50$ ms

Pour que les interférences soient destructives en permanence, le second signal doit avoir la même période ($T = 0{,}50$ ms) et la même amplitude (3 V) que $u_1$, et être en opposition de phase avec lui (décalé de $\frac{T}{2} = 0{,}25$ ms).

À chaque instant $u_2(t) = -u_1(t)$ : la somme des deux signaux est nulle.

Courbe $u_2$ tracée sur l'annexe : symétrique de $u_1$ par rapport à l'axe des temps.

**MÉTHODE**
Placer d'abord les points remarquables : $u_2 = -3$ V quand $u_1 = +3$ V, $u_2 = +3$ V quand $u_1 = -3$ V, mêmes passages par zéro. Relier ensuite par une sinusoïde.




**4** · Document 1 complété : $u_2$ (en orange) est en opposition de phase avec $u_1$

**5** En utilisant l'équation d'état des gaz parfaits, montrer que la masse volumique de l'air à l'altitude 1 500 m a pour valeur $\rho = 1{,}06\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

**Données utiles** $p_A = 845$ hPa ; $\theta_A = 5{,}5$ °C ; $M = 29{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; $R = 8{,}314\ \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Équation d'état du gaz parfait : $p_A V = nRT_A$, avec $n = \frac{m_{\text{air}}}{M}$.

Donc $p_A V = \frac{m_{\text{air}}}{M} RT_A$, et comme $\rho = \frac{m_{\text{air}}}{V}$ :

$$\rho = \frac{p_A M}{RT_A}$$

Avec $p_A = 845 \times 10^2$ Pa, $M = 29{,}0 \times 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $T_A = 5{,}5 + 273{,}15 = 278{,}65$ K :

$$\rho = \frac{845 \times 10^2 \times 29{,}0 \times 10^{-3}}{8{,}314 \times 278{,}65} = 1{,}06\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

L'énoncé écrit « $z_B = 1\,500$ m » : il s'agit de l'altitude $z_A$ du point A.

$\rho = 1{,}06\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ : valeur attendue.

**PIÈGE**
Trois conversions à faire : hPa en Pa ($\times 10^2$), g en kg pour $M$, °C en K. En laissant $M$ en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, on trouve 1 060, en $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

**COMPRENDRE**
Coquille de l'énoncé : 1 500 m est l'altitude $z_A$ du saut, où sont données $p_A$ et $\theta_A$. L'altitude $z_B$ est l'inconnue de la question 6.

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$$\frac{845 \times 10^2 \times 29.0 \times 10^{-3}}{8.314 \times (5.5 + 273.15)} \approx 1.057756$$

**6** Déterminer l'altitude $z_B$ qu'afficherait l'altimètre s'il utilisait la loi fondamentale de la statique des fluides.

**Données utiles** $p_B - p_A = 31{,}8$ hPa ; $\rho = 1{,}06\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Q5) ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ; $z_A = 1\,500$ m

Le point B est plus bas que A, la pression y est plus grande. La loi de la statique des fluides, écrite entre $z_B$ et $z_A = z_B + h$, donne :

$$p_B - p_A = \rho\, g\, h \quad \text{avec} \quad h = z_A - z_B$$

$$h = \frac{p_B - p_A}{\rho\, g} = \frac{31{,}8 \times 10^2}{1{,}06 \times 9{,}81} = 306\ \text{m}$$

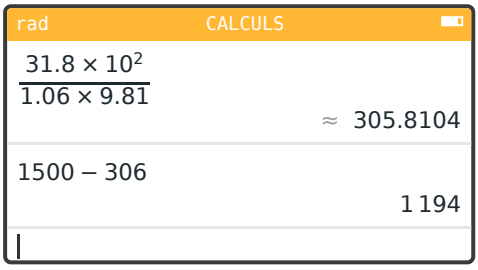
$z_B = z_A - h = 1\,500 - 306 = 1\,194$ m

$z_B \approx 1{,}19 \times 10^3$ m

**PIÈGE**
Ajouter $h$ à $z_A$ : la pression a augmenté, le parachutiste est donc descendu. Ne pas oublier non plus de convertir 31,8 hPa en Pa.

**COMPRENDRE**
Trois chiffres significatifs pour $h$. Ce résultat est cohérent avec la valeur $1{,}2 \times 10^3$ m lue plus loin sur l'altimètre du moniteur.

**À LA CALCULATRICE**




**7** Indiquer la (ou les) action(s) exercée(s) sur le parachutiste et la (ou les) modéliser par une (ou des) force(s).

**Données utiles** $m = 75{,}0$ kg ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ; actions de l'air négligées

Les actions de l'air étant négligées, la seule action exercée sur le système {parachutiste + équipement} est l'action à distance de la Terre.

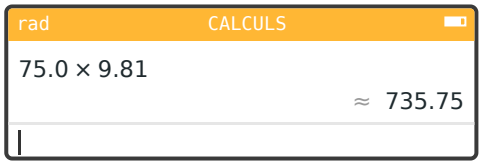
Elle est modélisée par le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ :

- point d'application : le centre de masse du système ;
- direction : verticale ;
- sens : vers le bas ;
- valeur : $P = m\,g = 75{,}0 \times 9{,}81 = 736$ N.

Une seule force : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$, vertical, vers le bas, $P = 736$ N.

**PIÈGE**
Ajouter une force « de lancement » due à l'avion : la vitesse $\vec{v}_A$ est une condition initiale, pas une force. Après le saut, l'avion n'agit plus.

**À LA CALCULATRICE**




**8** En déduire, en justifiant, les coordonnées $a_x(t)$ et $a_z(t)$ du vecteur accélération et les expressions des coordonnées $v_x(t)$ et $v_z(t)$ du vecteur vitesse du centre de masse du système.

Système {parachutiste + équipement}, de masse $m$ constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical et vers le bas, l'axe $(Oz)$ est orienté vers le haut :

$$a_x(t) = 0 \qquad a_z(t) = -g$$

Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives : $v_x(t) = C_1$ et $v_z(t) = -g\,t + C_2$.

À $t = 0$, la vitesse est celle de l'avion, horizontale : $v_x(0) = v_A$ et $v_z(0) = 0$, donc $C_1 = v_A$ et $C_2 = 0$.

$a_x = 0$ ; $a_z = -g$ ; $v_x(t) = v_A$ ; $v_z(t) = -g\,t$

**PIÈGE**
Oublier les constantes d'intégration, ou écrire $a_z = +g$ alors que l'axe $(Oz)$ est orienté vers le haut.

**COMPRENDRE**
L'accélération ne dépend pas de la masse. Le mouvement est uniforme selon $(Ox)$ et uniformément accéléré selon $(Oz)$.

**9** Montrer que les équations horaires du mouvement sont $x(t) = v_A\,t$ et $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + z_A$.

**Données utiles** $v_x(t) = v_A$ et $v_z(t) = -g\,t$ (Q8)

Comme $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OG}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives des coordonnées de la vitesse :

$$x(t) = v_A\,t + C_3 \qquad z(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + C_4$$

À $t = 0$, le parachutiste est au point A, à la verticale de O : $x(0) = 0$ et $z(0) = z_A$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = z_A$.

$x(t) = v_A\,t$ et $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + z_A$ : ce sont les équations attendues.

**MÉTHODE**
Toujours le même enchaînement : forces, deuxième loi de Newton, accélération, puis deux intégrations. Chaque constante se détermine avec les conditions initiales, à écrire explicitement sur la copie.

**10** Déterminer l'altitude théorique $z_C$ à laquelle le parachutiste devrait ouvrir son parachute, 10 s après le saut.

**Données utiles** $g = 9{,}81\ \mathrm{m\cdot s^{-2}}$ ; $z_A = 1\,500\ \mathrm{m}$ ; $t_C = 10\ \mathrm{s}$

On utilise l'équation horaire $z(t)$ à la date $t_C = 10$ s :

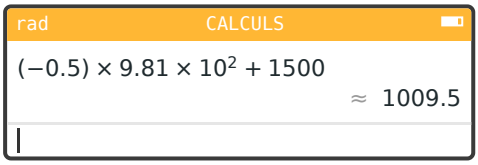
$$z_C = -\frac{1}{2}\,g\,t_C^2 + z_A = -\frac{1}{2} \times 9{,}81 \times 10^2 + 1\,500 = 1\,009{,}5\ \mathrm{m}$$

Le parachutiste est descendu de 490 m.

$z_C \approx 1{,}01 \times 10^3\ \mathrm{m}$

**PIÈGE**
Convertir $v_A$ ne sert à rien ici : la vitesse horizontale n'intervient pas dans $z(t)$. Ne pas oublier le carré sur $t_C$.

**À LA CALCULATRICE**




**11** Proposer au moins deux raisons pour expliquer la différence entre la valeur mesurée $z_B$ et la valeur calculée $z_C$.

**Données utiles** $z_B = 1{,}2 \times 10^3$ m ; $z_C = 1{,}01 \times 10^3$ m (Q10)

$z_B > z_C$ : le parachutiste est descendu d'environ 300 m au lieu des 490 m prévus par le modèle.

- Les actions de l'air ne sont pas négligeables : les frottements freinent la chute, le parachutiste descend moins en 10 s que dans le modèle de la chute libre.
- L'élève compte les 10 secondes sans chronomètre : s'il compte trop vite, il ouvre son parachute plus tôt, donc plus haut.
- L'altitude $z_B$ est elle-même peu précise : l'altimètre déduit l'altitude d'une pression à l'aide d'un modèle, et la valeur n'est donnée qu'avec deux chiffres significatifs.

Frottements de l'air négligés dans le modèle et durée de 10 s mal évaluée par l'élève (ainsi que la précision de l'altimètre).

**COMPRENDRE**
En chute libre, la vitesse verticale après 10 s serait $g\,t = 98\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$, soit environ $350\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$ : bien plus que les $200\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$ cités en partie 4. Le modèle sans frottement n'est pas réaliste.

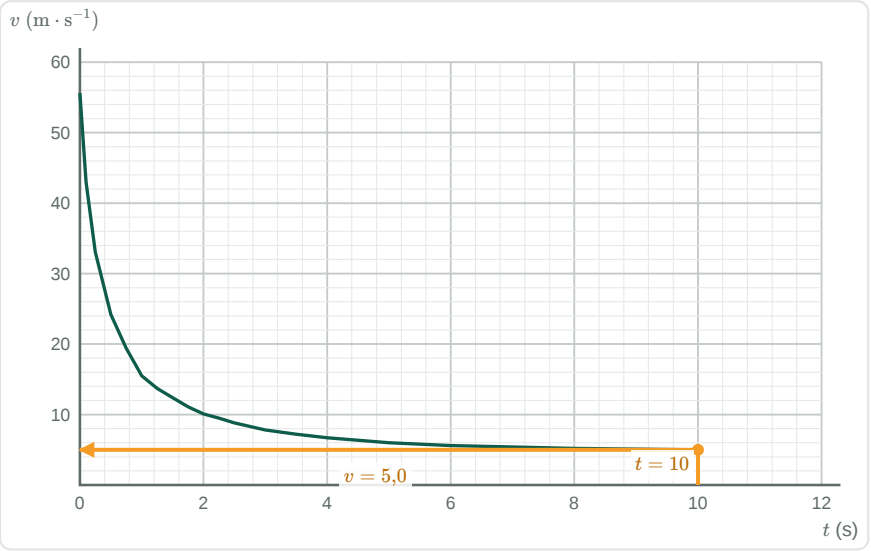
**12** Montrer que la modélisation rend bien compte de la condition de fonctionnement du parachute de secours portant sur la vitesse.

**Données utiles** condition : passer de $200\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ à moins de $20\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ en 10 s ; figure 2

Lecture de la figure 2 :

- à $t = 0$ : $v_0 \approx 56\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, soit $56 \times 3{,}6 \approx 200\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ;
- à $t = 10$ s : $v \approx 5{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, soit $5{,}0 \times 3{,}6 = 18\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

En 10 s, la vitesse passe de $200\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ à $18\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1} < 20\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ : la condition sur la vitesse est respectée.

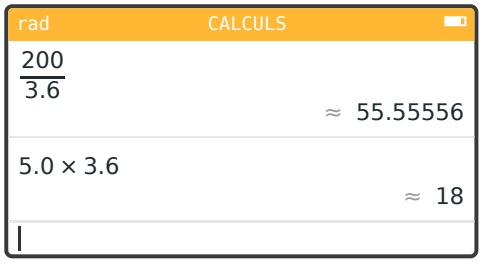



**12** · Figure 2 du sujet, avec la lecture à $t = 10$ s

**PIÈGE**
Comparer des $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ à des $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. On peut aussi convertir la limite : $20\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1} = 5{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, et la courbe passe en dessous.

**MÉTHODE**
Pour passer des $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ aux $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, on multiplie par 3,6 ; dans l'autre sens, on divise par 3,6.

**À LA CALCULATRICE**




**13** Écrire la relation entre le vecteur accélération $\vec{a}$ du système et les forces modélisant les actions s'exerçant sur le système.

Système {parachutiste + équipement}, de masse $m$ constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Forces : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ et la force de frottement $\vec{f}$, opposée à la vitesse, donc verticale et vers le haut.

Deuxième loi de Newton :

$$m\,\vec{a} = \vec{P} + \vec{f}, \text{ soit } \vec{a} = \vec{g} + \frac{\vec{f}}{m}$$

**PIÈGE**
Écrire $m\,a = P + f$ avec les valeurs : la relation est vectorielle, les deux forces sont de sens opposés.

**14** Après $t = 9$ s, la vitesse prend une valeur constante $v_f$. Écrire la relation entre les valeurs des forces et en déduire l'expression de $k$ en fonction de $m$, $g$ et $v_f$.

**Données utiles** $f = k\,v^2$

La vitesse est constante et le mouvement est rectiligne : $\vec{a} = \vec{0}$.

D'après la question 13 : $\vec{P} + \vec{f} = \vec{0}$. Les deux forces se compensent, elles ont la même valeur :

$$f = P \quad \text{soit} \quad k\,v_f^2 = m\,g$$

$$k = \frac{m\,g}{v_f^2}$$

**COMPRENDRE**
$v_f$ est la vitesse limite : le frottement augmente avec la vitesse jusqu'à compenser exactement le poids. Le mouvement devient alors rectiligne uniforme (première loi de Newton).

**15** En déduire la valeur du coefficient de frottement $k$ choisi pour la modélisation. Préciser l'unité de $k$.

**Données utiles** $m = 75{,}0$ kg ; $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ; figure 2 : $v_f = 5{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Sur la figure 2, après 9 s : $v_f = 5{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$k = \frac{m\,g}{v_f^2} = \frac{75{,}0 \times 9{,}81}{5{,}0^2} = 29\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$$

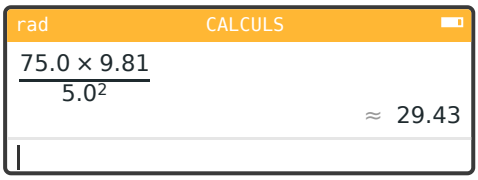
Unité : $k = \dfrac{f}{v^2}$ s'exprime en $\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^2$. Comme $1\ \text{N} = 1\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, on obtient $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$.

$k = 29\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ (ou $\text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-2}$)

**PIÈGE**
Oublier le carré sur $v_f$, ou donner $k$ sans unité.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs seulement : $v_f$ est lue sur le graphique. Pour la question suivante, on garde la valeur non arrondie 29,43.

**À LA CALCULATRICE**



**16** Donner les caractéristiques (sens, direction et valeur) du vecteur accélération du système à la date $t = 2$ s. Commenter.

**Données utiles** figure 2 : $v = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ à $t = 2$ s ; $k = 29{,}43\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ (Q15) ; $m = 75{,}0$ kg ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Le mouvement est vertical vers le bas : $\vec{P}$ est vers le bas, $\vec{f}$ vers le haut. On projette $m\vec{a} = \vec{P} + \vec{f}$ sur l'axe $(Oz)$ orienté vers le haut :

$$m\,a_z = -m\,g + k\,v^2 \quad \text{donc} \quad a_z = \frac{k\,v^2}{m} - g$$

À $t = 2$ s, on lit $v = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ :

$$a_z = \frac{29{,}43 \times 10^2}{75{,}0} - 9{,}81 = 29\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

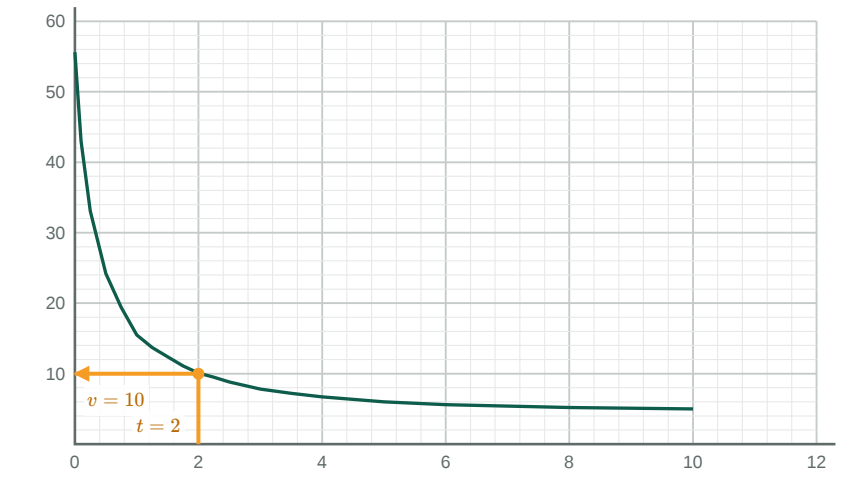
$a_z > 0$ : le vecteur accélération est vertical et dirigé vers le haut.

Commentaire : $\vec{a}$ est de sens opposé à la vitesse, le mouvement est ralenti, ce qui est cohérent avec la courbe décroissante. Sa valeur est environ $3g$ : le freinage est brutal à l'ouverture du parachute de secours.

$\vec{a}$ : direction verticale, sens vers le haut, valeur $a \approx 29\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} \approx 3g$.

**PIÈGE**
Dire que l'accélération est vers le bas « parce que le parachutiste descend » : c'est la vitesse qui est vers le bas. Ici $f = k\,v^2 \approx 2\,900$ N dépasse largement le poids (736 N).

**COMPRENDRE**
Vérification : $v = 2\,v_f$, donc $f = 4\,P$ et $a = 3g$. En revanche, la pente de la tangente à la courbe en $t = 2$ s ne donne qu'environ $4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ : la courbe du sujet ne suit pas exactement ce modèle.




**16** · Figure 2 du sujet, avec la lecture à $t = 2$ s

**À LA CALCULATRICE**

