Les trois records de Félix Baumgartner

Bac S 2015 Métropole (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Indiquer la force responsable de l'ascension du ballon.

Le ballon est entièrement plongé dans l'air : celui-ci exerce sur lui une force verticale dirigée vers le haut.

La force responsable de l'ascension est la **poussée d'Archimède** $\overrightarrow{F_A}$ exercée par l'air.

1.2 Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le système {ballon ; équipage} juste après le décollage, frottements négligés. L'illustrer par un schéma cohérent, sans souci d'échelle.

Système {ballon ; équipage}, étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Deux forces s'exercent sur lui :

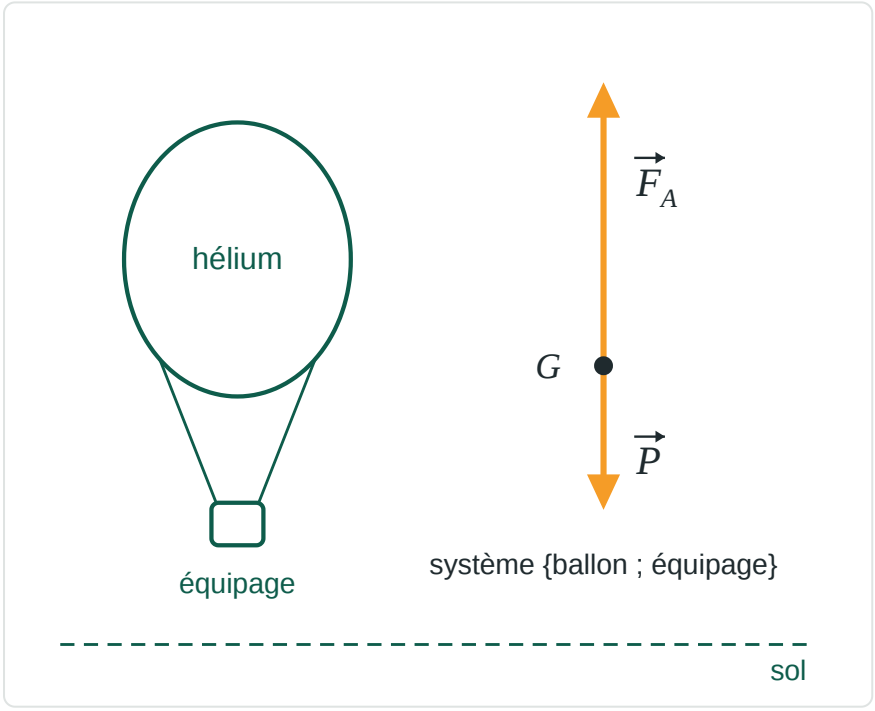
- son poids $\overrightarrow{P}$: vertical, vers le bas, de valeur $P = m_{\text{sys}}\, g$;
- la poussée d'Archimède $\overrightarrow{F_A}$: verticale, vers le haut, de valeur $F_A = \rho_{\text{air}}\, V\, g$.

Le ballon vient de quitter le sol et prend de la vitesse vers le haut : la somme des forces est dirigée vers le haut.

Sur le schéma, la flèche de $\overrightarrow{F_A}$ est plus longue que celle de $\overrightarrow{P}$: $F_A > P$.

PIÈGE

Dessiner deux flèches de même longueur : le système serait alors immobile ou en mouvement uniforme. « Cohérent avec la situation physique » impose $F_A > P$.



1.2 · Juste après le décollage : la poussée d'Archimède l'emporte sur le poids

1.3 Vérifier par un calcul que le ballon peut décoller.

Données utiles $m_{\text{sys}} \approx 3\ \text{t} = 3 \times 10^3\ \text{kg}$; $V = 5100\ \text{m}^3$; $\rho_{\text{air}} = 1{,}22\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ au sol ; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Le ballon décolle si la poussée d'Archimède est supérieure au poids du système.

Poids : $P = m_{\text{sys}}\, g = 3 \times 10^3 \times 9{,}8 \approx 3 \times 10^4\ \text{N}$

Poussée d'Archimède au sol, le volume de l'équipage étant négligé :

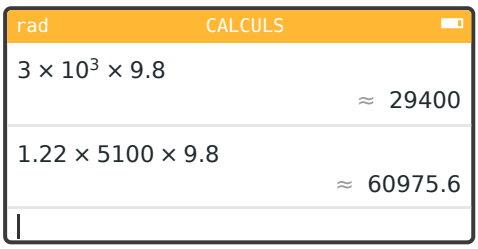
$$F_A = \rho_{\text{air}}\, V\, g = 1{,}22 \times 5100 \times 9{,}8 = 6{,}1 \times 10^4\ \text{N}$$

$F_A \approx 6{,}1 \times 10^4\ \text{N} > P \approx 3 \times 10^4\ \text{N}$: le ballon peut décoller.

PIÈGE
Prendre la masse volumique de la stratosphère ($0{,}015\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) : au décollage, le ballon est dans l'air du sol.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : g en a deux, donc F_A aussi ; « environ 3 tonnes » n'en donne qu'un à P. On trouve $F_A \approx 2P$: c'est le « double du nécessaire » annoncé par le texte.

À LA CALCULATRICE



1.4 Après quelques minutes, le mouvement du système est rectiligne uniforme. Déterminer la valeur de la force de frottement de l'air.

Données utiles $F_A = 6{,}1 \times 10^4\ \text{N}$ et $P \approx 2{,}9 \times 10^4\ \text{N}$ (1.3)

Le mouvement est rectiligne uniforme dans un référentiel galiléen : d'après la première loi de Newton (principe d'inertie), les forces se compensent.

$$\vec{P} + \vec{F_A} + \vec{f} = \vec{0}$$

Le ballon monte, donc la force de frottement $\vec{f}$ est dirigée vers le bas. En projetant sur un axe vertical orienté vers le haut : $-P + F_A - f = 0$, soit

$$f = F_A - P$$

D'après le texte, la poussée d'Archimède reste constante pendant l'ascension :

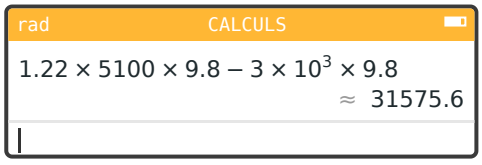
$f = 6{,}1 \times 10^4 - 2{,}9 \times 10^4 = 3{,}2 \times 10^4\ \text{N}$

$f \approx 3 \times 10^4\ \text{N}$

PIÈGE
Orienter $\vec{f}$ vers le haut : un frottement s'oppose toujours au mouvement, il est donc vers le bas pendant la montée.

COMPRENDRE
La masse n'étant connue qu'à un chiffre, le résultat n'en mérite pas plus. La force de frottement est ici du même ordre que le poids.

À LA CALCULATRICE



2.1 Utiliser la courbe 1 pour déterminer la valeur de l'accélération de Félix Baumgartner si $t < 20$ s. Commenter le résultat.

Le mouvement est vertical : la valeur de l'accélération est $a = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$, coefficient directeur de la courbe $v(t)$.

Pour $t < 20$ s, la courbe 1 est une droite qui passe par l'origine et par le point $(20\ \text{s}\ ;\ 195\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1})$:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{195 - 0}{20 - 0} = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

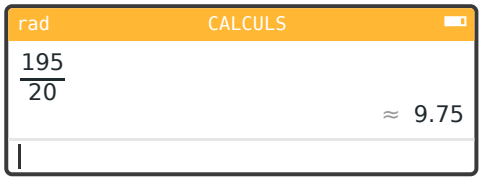
On retrouve $a \approx g$: au début du saut, le système n'est soumis qu'à son poids, c'est une chute libre. À cette altitude l'air est très peu dense et la vitesse encore faible : les frottements sont négligeables.

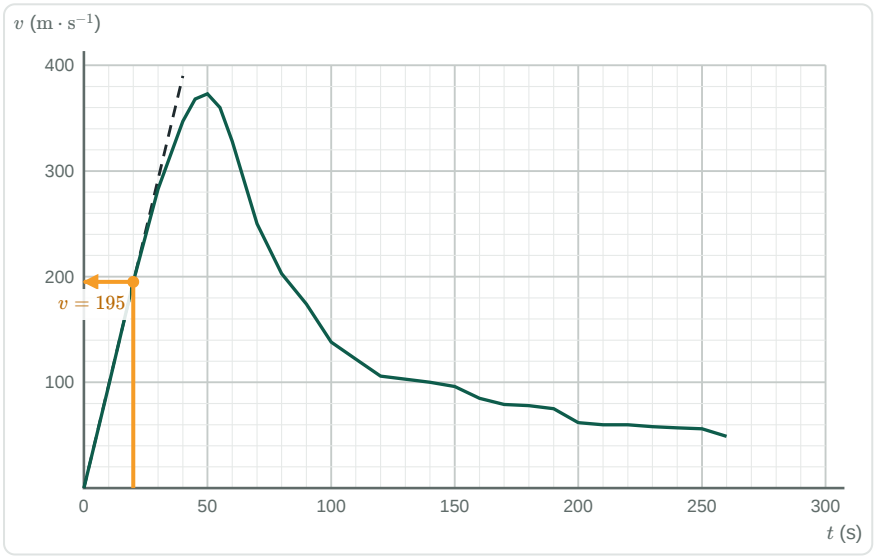
$a \approx 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} = g$: chute libre pendant les 20 premières secondes.

COMPRENDRE
Deuxième loi de Newton avec le poids seul : $m\vec{a} = m\vec{g}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$. Le vecteur accélération est vers le bas ; la question demande sa valeur.

MÉTHODE
Coefficient directeur : choisir deux points de la droite éloignés l'un de l'autre et les nommer avec leurs unités. Ici l'origine et le point d'abscisse 20 s.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Courbe 1 : pour $t < 20$ s, une droite passant par l'origine et par le point (20 s ; 195 m · s^{-1})

2.2 Lors de son saut, Félix Baumgartner a-t-il atteint une vitesse supersonique ? Justifier.

Données utiles $v_{\text{max}} = 1341{,}9\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$; célérité du son entre 10 et 40 km : de 297 à 318 m · s^{-1}

Vitesse maximale en unité SI : $v_{\text{max}} = \dfrac{1341{,}9}{3{,}6} = 372{,}75\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

La courbe 1 confirme ce maximum, voisin de $375\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ à $t = 50$ s.

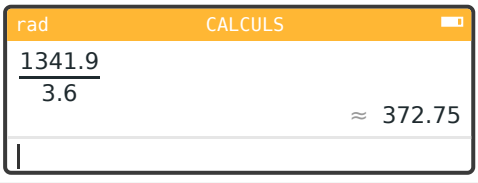
Entre 10 et 40 km d'altitude, la célérité du son ne dépasse pas $318\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$v_{\text{max}} = 372{,}75\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} > 318\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: oui, la vitesse a été supersonique.

PIÈGE
Comparer 1341,9 à 318 sans convertir. Les deux vitesses doivent être dans la même unité : on divise par 3,6 pour passer des km · h^{-1} aux m · s^{-1}.

COMPRENDRE
Comparer à la plus grande célérité du tableau suffit : la conclusion vaut alors à toute altitude, sans avoir à savoir où se trouve le sauteur.

À LA CALCULATRICE



2.3 Calculer la variation d'énergie mécanique ΔE_m entre le moment où Félix Baumgartner saute et celui où il atteint sa vitesse maximale. Interpréter le résultat.

Données utiles $m = 120$ kg ; $g = 9{,}8$ m · s^{-2} ; $z_i = 39\,045$ m ; $v_f = 372{,}75$ m · s^{-1} (2.2)

Énergie mécanique : $E_m = E_c + E_{pp} = \dfrac{1}{2} m v^2 + m g z$, avec $E_{pp} = 0$ au sol.

- État initial : $v_i = 0$ et $z_i = 39\,045$ m.
- État final : la vitesse est maximale à $t = 50$ s (courbe 1) ; la courbe 2 donne alors $z_f \approx 28$ km $= 28 \times 10^3$ m.

$$\Delta E_m = E_{m,f} - E_{m,i} = \frac{1}{2} m v_f^2 + m g (z_f - z_i)$$

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} \times 120 \times 372{,}75^2 + 120 \times 9{,}8 \times (28 \times 10^3 - 39\,045)$$

$$\Delta E_m = 8{,}3 \times 10^6 - 1{,}30 \times 10^7 = -4{,}7 \times 10^6 \text{ J}$$

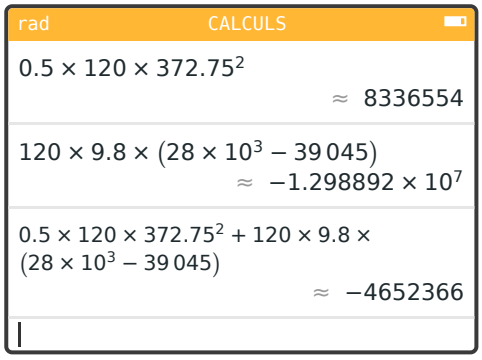
$\Delta E_m < 0$: l'énergie mécanique diminue. Elle ne se conserve pas car la force de frottement de l'air effectue un travail résistant ; l'énergie perdue est dissipée sous forme thermique.

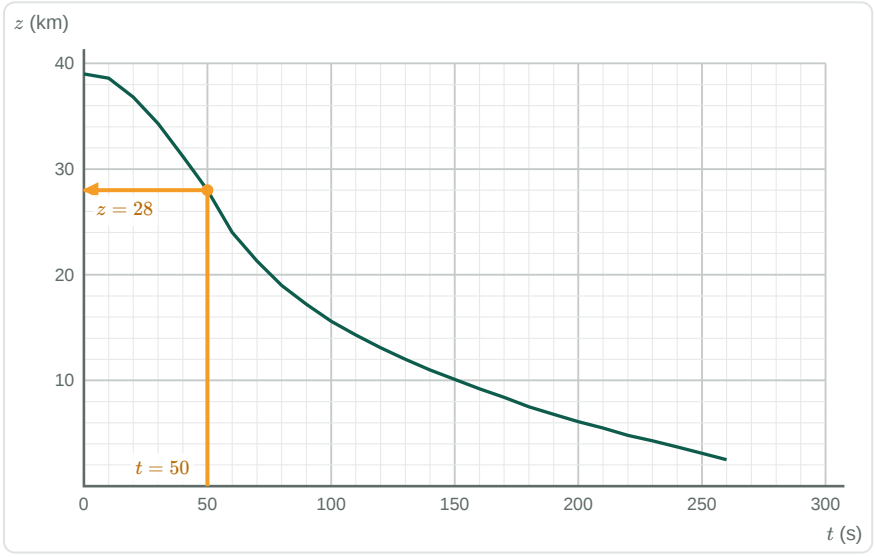
$\Delta E_m \approx -4{,}7 \times 10^6$ J : énergie dissipée par les frottements de l'air.

PIÈGE
Laisser z_f en kilomètres ou oublier le carré sur v_f. Attention aussi au sens : une variation se calcule « final moins initial ».

COMPRENDRE
L'énergie potentielle perdue vaut $1{,}3 \times 10^7$ J, l'énergie cinétique gagnée $8{,}3 \times 10^6$ J : l'écart est le travail des frottements. La lecture de z_f limite le résultat à deux chiffres.

À LA CALCULATRICE





2.3 · Courbe 2 : altitude à la date $t = 50$ s de la vitesse maximale

2.4 Affecter un des schémas A, B, C (poids $\vec{P}$ et force de frottement $\vec{f}$) à chacune des dates $t_1 = 40$ s, $t_2 = 50$ s et $t_3 = 60$ s.

On lit sur la courbe 1 le sens de variation de la vitesse, puis on applique la deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{f} = m\vec{a}$. Le mouvement se fait vers le bas.

- $t_1 = 40$ s : la vitesse augmente, $\vec{a}$ est vers le bas, donc $P > f$: schéma B.
- $t_2 = 50$ s : la vitesse est maximale, $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, donc $P = f$: schéma C.
- $t_3 = 60$ s : la vitesse diminue, $\vec{a}$ est vers le haut, donc $f > P$: schéma A.

t_1 : schéma B ; t_2 : schéma C ; t_3 : schéma A.

COMPRENDRE
Le poids ne change pas. La force de frottement augmente avec la vitesse et avec la densité de l'air : en descendant dans un air plus dense, elle finit par dépasser le poids et freine la chute.

MÉTHODE
Sommet d'une courbe $v(t)$: tangente horizontale, donc accélération nulle et forces qui se compensent à cet instant précis.

2.5 Déterminer l'altitude à laquelle Félix Baumgartner ouvre son parachute, puis la valeur de la vitesse du système entre l'ouverture et l'arrivée au sol, le mouvement étant supposé rectiligne uniforme.

Données utiles ouverture du parachute à 4 min 20 s ; durée totale du saut : 9 min 3 s

Ouverture du parachute : $t_o = 4 \times 60 + 20 = 260$ s. Sur la courbe 2, on lit $z(260\ \text{s}) \approx 2{,}5$ km.

Arrivée au sol : $t_s = 9 \times 60 + 3 = 543$ s. La distance $d = 2{,}5 \times 10^3$ m est parcourue à vitesse constante pendant $\Delta t = t_s - t_o$:

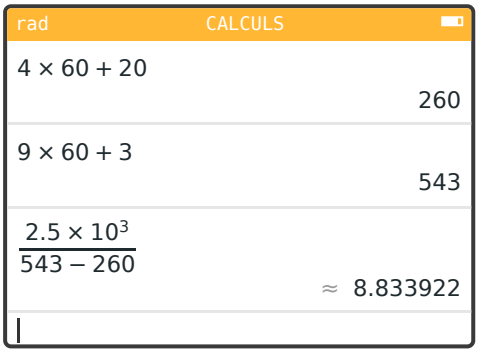
$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2{,}5 \times 10^3}{543 - 260} = 8{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Ouverture à $z \approx 2{,}5$ km ; vitesse sous parachute $v \approx 8{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit environ $9\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

PIÈGE
Diviser par la durée totale du saut (543 s) : la phase sous parachute ne dure que $543 - 260 = 283$ s. Convertir aussi les kilomètres en mètres.

COMPRENDRE
L'altitude est lue sur un graphique gradué tous les 2 km : la vitesse n'est qu'un ordre de grandeur, deux chiffres au plus. Elle vaut environ $32\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



2.6 Pour acquérir la même vitesse à l'arrivée au sol, de quel étage d'un immeuble Félix Baumgartner aurait-il dû sauter ? Commenter.

Données utiles $v = 8{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.5) ; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

On modélise le saut depuis une hauteur h par une chute libre sans vitesse initiale : sur quelques mètres, les frottements sont négligeables et l'énergie mécanique se conserve.

- Départ : $v = 0$, altitude h, donc $E_m = m\,g\,h$.
- Arrivée au sol : $z = 0$, vitesse v, donc $E_m = \frac{1}{2}\,m\,v^2$.

$m\,g\,h = \frac{1}{2}\,m\,v^2$, d'où

$$h = \frac{v^2}{2\,g} = \frac{8{,}8^2}{2 \times 9{,}8} = 4{,}0\ \text{m}$$

Un étage mesure environ 3 m : cette hauteur correspond à une fenêtre du premier étage, au plus au deuxième.

L'arrivée au sol sous parachute équivaut donc à un saut de 4 m : le choc reste rude, et l'atterrissage demande une technique d'amorti (jambes fléchies, roulade) pour éviter les blessures.

$h \approx 4$ m : un saut du premier ou du deuxième étage.

COMPRENDRE
La masse se simplifie : la hauteur ne dépend pas du sauteur. Avec la valeur non arrondie de v, on obtient $3{,}98$ m : même conclusion.

MÉTHODE
Relier une vitesse à une hauteur de chute sans frottement : conservation de l'énergie mécanique, $v^2 = 2\,g\,h$. Aucune durée n'est nécessaire.

À LA CALCULATRICE

