DEVOIR Jeudi 20 décembre Durée 1h

Le 14 octobre 2012, Félix Baumgartner a réalisé un saut historique en inscrivant trois records à son tableau de chasse : celui de la plus haute altitude atteinte par un homme en ballon soit 39 045 m d'altitude, le record du plus haut saut en chute libre, et le record de vitesse en chute libre, une vitesse supersonique. Après une ascension dans un ballon gonflé à l'hélium, il a sauté vers la Terre, vêtu d'une combinaison spécifique en ouvrant son parachute au bout de 4 min et 20 s. Le saut a duré en totalité 9 min et 3 s.

1. Ascension en ballon sonde de Félix Baumgartner (25min)

Il a fallu concevoir un ballon déformable gigantesque, faisant 100 m de hauteur et 130 m de diamètre lors de son extension maximale. En raison de la diminution de la densité de l'air avec l'altitude, le volume du ballon augmente lors de l'ascension de façon à ce que la poussée d'Archimède reste constante.

« Pour assurer une vitesse d'ascension suffisante, le volume initial d'hélium utilisé était de 5100 m^3, c'est-à-dire le double du nécessaire pour la sustentation[1]. En pratique, si l'on ajoute à la masse de l'équipage celle du ballon et de l'hélium, c'est environ 3000 kg qu'il a fallu soulever. »

D'après un article de « Pour la Science » janvier 2013

[1] Sustentation : état d'un corps maintenu à faible distance au-dessus d'une surface, sans contact avec celle-ci.

Données :

La poussée d'Archimède est représentée par un vecteur force $\vec{F_A}$ vertical vers le haut ; l'expression de la poussée d'Archimède exercée par l'air sur un corps est : $\mathbf{F_A = \rho_{air}.V.g}$

- ρ_{air} (en $kg.m^{-3}$) est la masse volumique de l'air dans lequel est plongé le corps,
- V (en m^3) le volume du corps placé dans l'air,
- g l'intensité du champ de pesanteur
  l'intensité du champ de pesanteur est considérée comme constante entre le niveau de la mer et l'altitude de 39 km. $\mathbf{g = 9.8\ m.s^{-1}}$

1.1. Indiquer la force qui est responsable de l'ascension du ballon au moment du décollage.

1.2. Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le système {ballon ; équipage} juste après le décollage, en négligeant à ce moment, les forces de frottement avec l'air. Illustrer ce bilan de forces par un schéma, sans souci d'échelle mais cohérent avec la situation physique.

1.3. En utilisant les données, les informations du texte et les connaissances acquises, vérifier par un calcul que le ballon peut décoller. Le volume de l'équipage est négligeable par rapport au volume du ballon, la masse volumique de l'air dans la troposphère proche du sol est 1,22 $kg.m^{-3}$

1.4. Après quelques minutes d'ascension, le mouvement du système {ballon ; équipage} est considéré comme rectiligne uniforme. La force $\vec{f}$ représentant les frottements avec l'air ne peut plus être négligée. Appliquer la loi de Newton qui convient pour déterminer sa valeur.

2. Saut de Félix Baumgartner (35min)

On étudie maintenant le système {Félix Baumgartner et son équipement} en chute rectiligne verticale. On choisit un axe (Oz) vertical vers le haut dont l'origine O est prise au niveau du sol. Le système étudié, noté S, a une vitesse initiale nulle. Au cours du saut avant ouverture du parachute, la densité de l'air initialement très faible, augmente lorsque Félix Baumgartner se rapproche de la Terre. On négligera néanmoins la poussée d'Archimède.

L'évolution temporelle de la vitesse (courbe 1) ainsi que celle de l'altitude (courbe 2) ont été relevées et figurent en annexe.

2.1. Au cours d'une première phase la vitesse augmente et atteint une valeur maximale record. Donner cette valeur en $m.s^{-1}$ puis en km/h.

2.2.

2.2.1. Pourquoi peut-on considérer que l'accélération est constante jusqu'à la date t = 20 s ?

2.2.2. Exploiter la courbe 1 (en annexe) pour calculer cette accélération. Commenter le résultat obtenu.

2.2.3. Montrer que l'application de la 2^e loi de Newton justifie qu'au cours de ces premiers instants (t < 20 s), Félix Baumgartner n'est soumis qu'à son seul poids, c'est-à-dire « en chute libre ».

2.3. Faire l'analyse des forces extérieures appliquées au système au-delà de la date t = 20s.

On donne ci-dessous l'équation horaire de l'altitude z pour le mouvement entre les dates 50 et 100s :

$$z(t) = 2,3.t^2 - 375.t + 28\times10^3$$

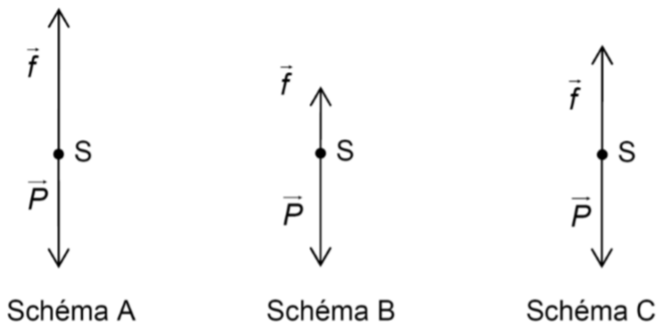
2.4. Déterminer l'équation horaire de l'accélération $a_z(t)$ au cours de ce mouvement.

2.5. En déduire les caractéristiques (direction, sens et valeur) du vecteur accélération $\vec{a}$.

2.6. Justifier à l'aide de la courbe 1 (en annexe) que Félix Baumgartner a atteint une vitesse limite juste avant l'ouverture du parachute ? Donner cette vitesse en $m.s^{-1}$.

2.7. Quelle est alors la valeur de l'accélération ? Justifier.

3. Les schémas ci-dessous représentent à trois instants les forces appliquées au système S lors du saut : le poids $\vec{P}$ et la force $\vec{f}$ modélisant les frottements.

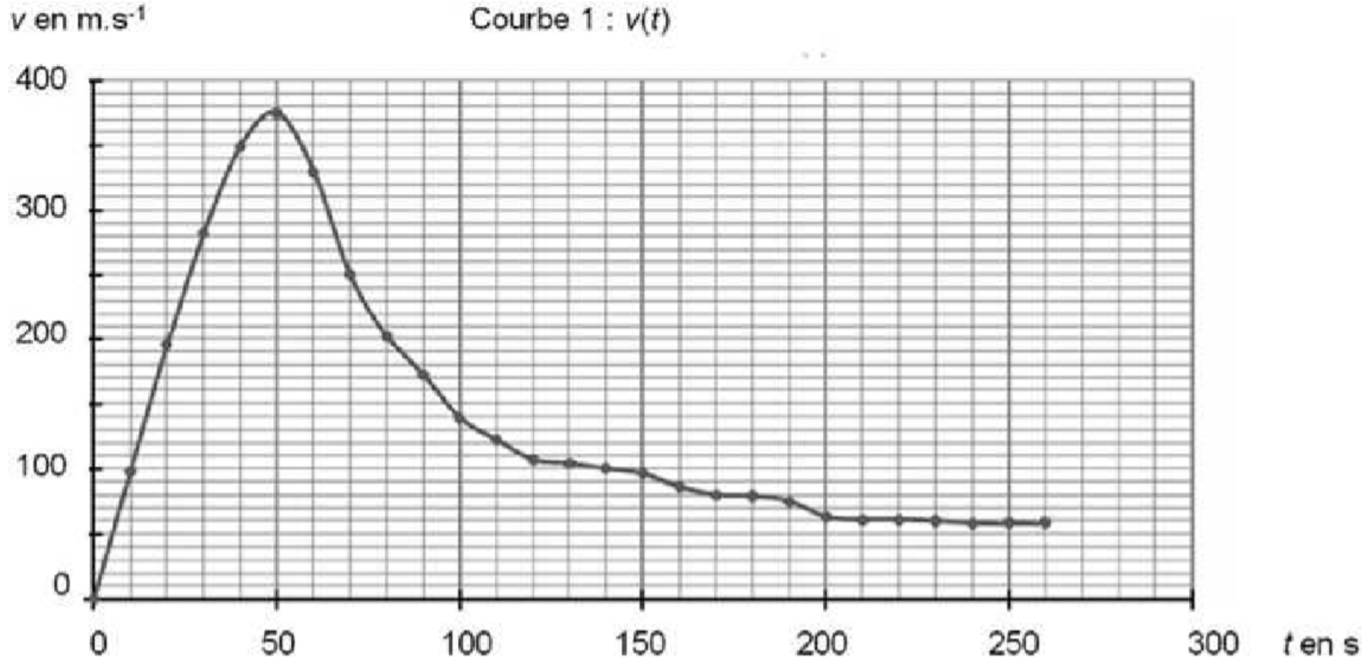


3.1. A l'aide des courbes en annexe, sans justifier, affecter à chaque schéma chacune des dates : t_1 = 40 s, t_2 = 100 s et t_3 = 250 s.

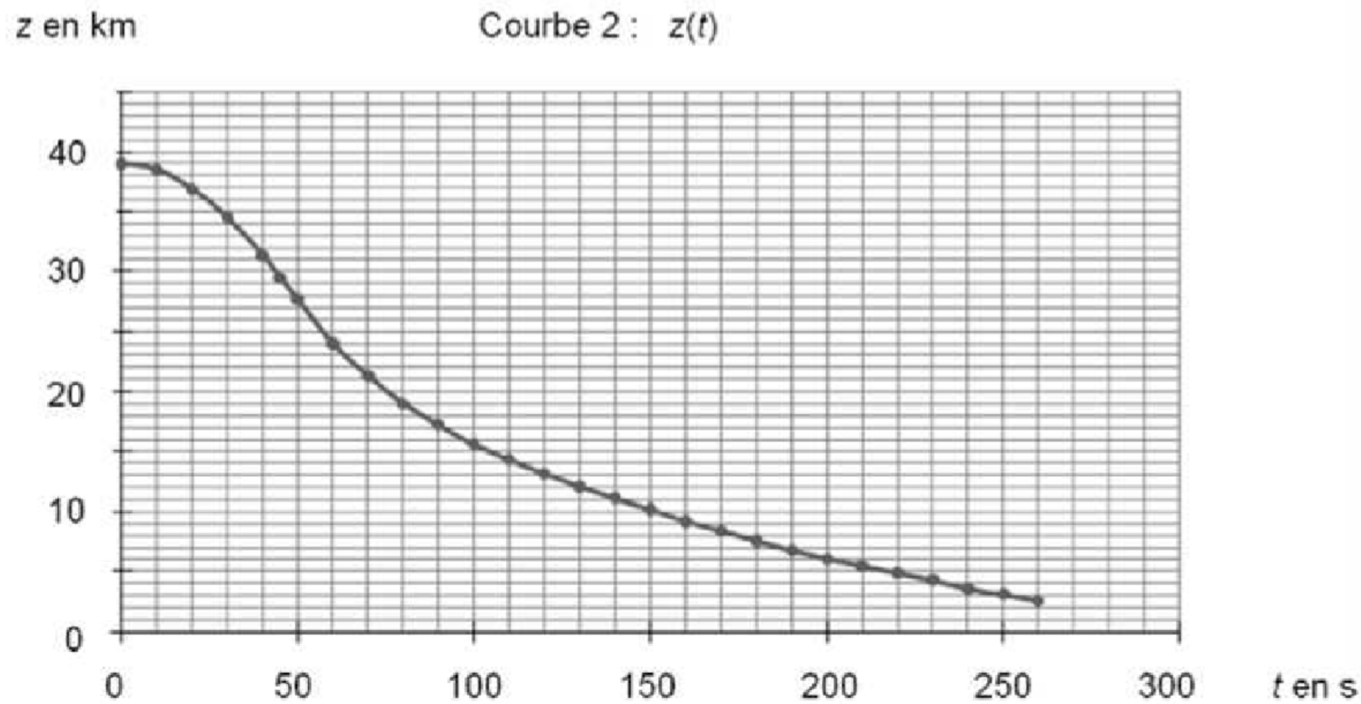
3.2. Associer à chaque schéma, la nature du mouvement rectiligne observé parmi : mouvement rectiligne ralenti – mouvement rectiligne uniforme – mouvement rectiligne accéléré.

ANNEXE

La masse de Félix Baumgartner et de son équipement est m = 120 kg. La date t = 0 correspond au début du saut de Felix Baumgartner.



Courbe 1 : Evolution temporelle de la vitesse v de Félix Baumgartner, dans le référentiel terrestre, jusqu’à l’ouverture du parachute.



Courbe 2 : évolution temporelle de l’altitude z par rapport au sol de Félix Baumgartner, jusqu’à l’ouverture du parachute.

DEVOIR Jeudi 20 décembre - CORRECTION Durée 1h

1. Ascension en ballon sonde de Félix Baumgartner (25min)

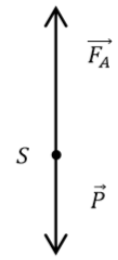
1.1. Indiquer la force qui est responsable de l'ascension du ballon au moment du décollage.

La force qui est responsable de l'ascension du ballon au moment du décollage est nécessairement dirigée vers le haut, il s'agit donc de la poussée d'Archimède.

1.2. Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le système {ballon ; équipage} juste après le décollage, en négligeant à ce moment, les forces de frottement avec l'air. Illustrer ce bilan de forces par un schéma, sans souci d'échelle mais cohérent avec la situation physique.

Le système {ballon ; équipage} juste après le décollage, est en interaction avec la Terre et l'air. Les forces de frottements étant négligées, seule la poussée d'Archimède $\vec{F}_A$ et le poids $\vec{P}$ s'exercent sur le système.

Les 2 forces sont verticales et de sens opposé ; pour que le ballon décolle, il faut que l'intensité de $\vec{F}_A$ soit supérieure à celle de $\vec{P}$.



1.3. En utilisant les données, les informations du texte et les connaissances acquises, vérifier par un calcul que le ballon peut décoller. Le volume de l'équipage est négligeable par rapport au volume du ballon, la masse volumique de l'air dans la troposphère proche du sol est 1,22 $kg.m^{-3}$

Pour vérifier par un calcul que le ballon peut décoller, il faut comparer les intensités des forces :

$F_A = \rho_{air}.V.g = 1,22 \times 5100 \times 9,8 = 60975,6 \approx 6,1 \times 10^4$ N

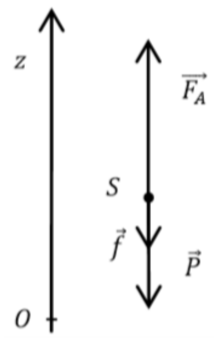
$P = m.g = 3000 \times 9,8 = 29400 \approx 2,9 \times 10^4$ N On a bien $F_A > P$

1.4. Après quelques minutes d'ascension, le mouvement du système {ballon ; équipage} est considéré comme rectiligne uniforme. La force $\vec{f}$ représentant les frottements avec l'air ne peut plus être négligée. Appliquer la loi de Newton qui convient pour déterminer sa valeur.

Si le mouvement du système {ballon ; équipage} est considéré comme rectiligne uniforme, sa vitesse est constante et la première loi de Newton permet d'écrire que $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$ On a donc $\vec{F}_A + \vec{P} + \vec{f} = \vec{0}$

$\vec{f}$ est opposée au mouvement et donc dirigée vers le bas. La relation vectorielle projetée sur un axe vertical dirigé vers le haut est :

$F_A - P - f = 0$ donc $f = F_A - P = 3,2 \times 10^4$ N



2. Saut de Félix Baumgartner (35min)

2.1. Au cours d'une première phase la vitesse augmente et atteint une valeur maximale record. Donner cette valeur en $m.s^{-1}$ puis en km/h.

$v_{max} = 375\ m.s^{-1} = 1350$ km/h

2.2.

2.2.1. Pourquoi peut-on considérer que l'accélération est constante jusqu'à la date t = 20 s ?

On peut observer sur la courbe 1 que la vitesse est une fonction linéaire du temps jusqu'à environ t = 20 s. L'accélération égale à la dérivée par rapport au temps de la vitesse est donc constante de 0 à 20 s.

2.2.2. Exploiter la courbe 1 (en annexe) pour calculer cette accélération. Commenter le résultat obtenu.

Puisque l'accélération est constante, on peut la calculer par $\frac{\Delta v}{\Delta t}$

A partir d'un relevé graphique : $a = \frac{195-0}{20-0} = 9,75 \approx 9,8$ On retrouve la valeur de l'accélération de pesanteur.

2.2.3. Montrer que l'application de la 2^e loi de Newton justifie qu'au cours de ces premiers instants (t < 20 s), Félix Baumgartner n'est soumis qu'à son seul poids, c'est-à-dire « en chute libre ».

La deuxième loi de Newton permet d'écrire $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a}$ or on vient de montrer que $\vec{a} = \vec{g}$ donc $\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{g} = \vec{P}$

Félix Baumgartner n'est soumis qu'à son seul poids, il est donc en chute libre.

2.3. Faire l'analyse des forces extérieures appliquées au système au-delà de la date t = 20s.

Après 20 s l'accélération n'est plus constante, les frottements ne sont alors plus négligeables : le système est donc soumis à son poids et la force de frottement avec l'air, opposée au mouvement donc verticale vers le haut.

On donne ci-dessous l'équation horaire de l'altitude z pour le mouvement entre les dates 50 et 100s :

$$z(t) = 2,3.t^2 - 375.t + 28 \times 10^3$$

2.4. Déterminer l'équation horaire de l'accélération $a_z(t)$ au cours de ce mouvement.

$v_z = \frac{dz}{dt} = 4,6.t - 375$ puis $a_z = \frac{dv_z}{dt} = 4,6$

2.5. En déduire les caractéristiques (direction, sens et valeur) du vecteur accélération $\vec{a}$.

Le vecteur accélération verticale, orienté vers le haut ($a_z > 0$) et de valeur 4,6 $m.s^{-2}$

2.6. Justifier à l'aide de la courbe 1 (en annexe) que Félix Baumgartner a atteint une vitesse limite juste avant l'ouverture du parachute ? Donner cette vitesse en $m.s^{-1}$.

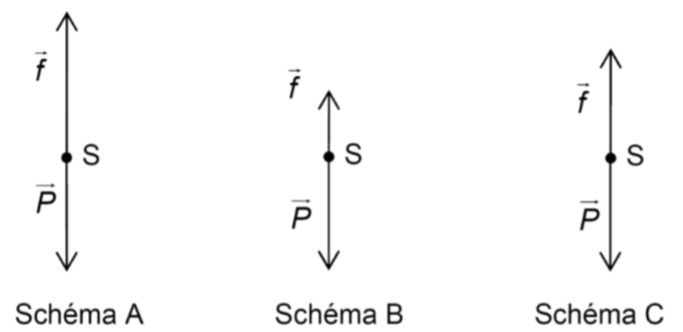
La courbe 1 montre que la vitesse devient constante pour t > 200s : $v_{limite} \approx 60\ m.s^{-1}$

2.7. Quelle est alors la valeur de l'accélération ? Justifier.

Si la vitesse est constante, la dérivée de la vitesse, c'est à dire l'accélération, est nulle (la tangente à la courbe est horizontale).

3. Les schémas ci-dessous représentent à trois instants les forces appliquées au système S lors du saut : le poids $\vec{P}$ et la force $\vec{f}$ modélisant les frottements.

3.1. A l'aide des courbes en annexe, sans justifier, affecter à chaque schéma chacune des dates : t_1 = 40 s, t_2 = 100 s et t_3 = 250 s.



t_2 = 100 s t_1 = 40 s t_3 = 250 s

3.2. Associer à chaque schéma, la nature du mouvement rectiligne observé parmi : mouvement rectiligne ralenti – mouvement rectiligne uniforme – mouvement rectiligne accéléré.

Schéma A : mouvement rectiligne ralenti
Schéma B : mouvement rectiligne accéléré
Schéma C : mouvement rectiligne uniforme