Les trois records de Félix Baumgartner
(Bac S – Métropole - juin 2015)

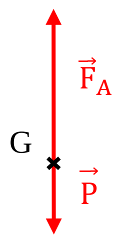
Corrigé réalisé par B. Louchart, professeur de Physique-Chimie
© *http://b.louchart.free.fr*

1. Ascension du ballon sonde de Félix Baumgartner

1.1. C'est la poussée d'Archimède qui est responsable de l'ascension du ballon.

1.2. système : {ballon + équipage}
référentiel : terrestre, considéré galiléen

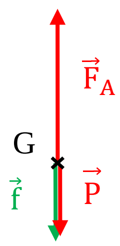
bilan des forces extérieures s'exerçant sur le système juste après le décollage :
$\vec{P}$ son poids
$\vec{F}_A$ la poussée d'Archimède
On néglige les forces de frottement.



1.3. $P = mg = 3000 \times 9{,}8 = 2{,}9\times10^4$ N
$F_A = \rho_{air}\, V\, g = 1{,}22 \times 5100 \times 9{,}8 = 6{,}1\times10^4$ N

Le ballon et son équipage sont initialement immobiles.
Or $F_A > P$, donc le ballon peut décoller.

1.4. bilan des forces extérieures s'exerçant sur le système :
$\vec{P}$ son poids
$\vec{F}_A$ la poussée d'Archimède
$\vec{f}$ la force de frottement



Le mouvement est rectiligne uniforme, donc d'après le principe de l'inertie, $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$
c'est-à-dire : $\vec{P} + \vec{F}_A + \vec{f} = \vec{0}$

En projetant cette relation sur un axe vertical (Oz) dirigé vers le haut, on obtient :
$F_A - P - f = 0$

Ainsi, $f = F_A - P = 6{,}1\times10^4 - 2{,}9\times10^4 = 3{,}2\times10^4$ N

2. Saut de Félix Baumgartner

système : {Félix Baumgartner et son équipement}
référentiel : terrestre, considéré galiléen

2.1.

- $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

  Le mouvement est rectiligne vertical, donc $a_x = a_y = 0$ m.s^{-2}

  On obtient : $a = \sqrt{a_z^2} = |a_z|$

- Calculons a_z :

  $a_z = \dfrac{dv_z}{dt}$

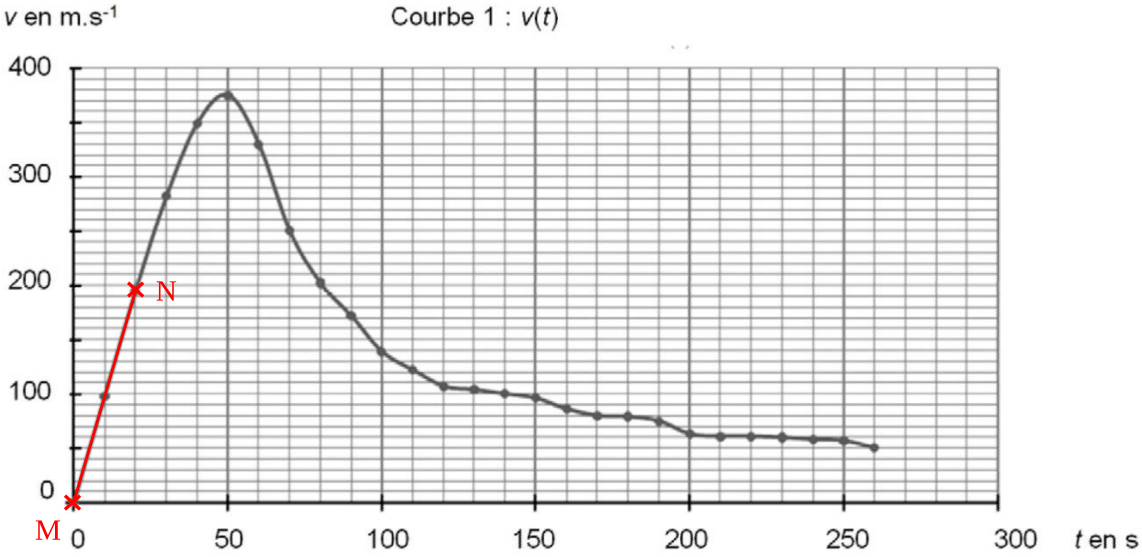
  Or $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$

  $= \sqrt{v_z^2}$ car $v_x = v_y = 0$ m.s^{-1}

  $= -v_z$ (car ici, le vecteur $\vec{v}$ est vertical vers le bas et l'axe (Oz) est orienté vers le haut, donc $v_z < 0$)

  Donc ici, $a_z = -\dfrac{dv}{dt}$

  $\Rightarrow$ a_z (t') est égal à l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe v = f(t), au point d'abscisse t'



La courbe v = f (t) peut être assimilée à une droite entre $t_0 = 0$ s et $t_5 = 20$ s.
On en déduit que pour tout instant compris entre $t_0 = 0$ s et $t_5 = 20$ s, a_z a la même valeur, égale à l'opposé du coefficient directeur de ce segment de droite.

$$\Rightarrow \quad a_z = -\frac{v(N) - v(M)}{t_N - t_M} = -\frac{195 - 0}{20 - 0} = -9{,}8 \text{ m.s}^{-2}$$

- La valeur a de l'accélération entre $t_0 = 0$ s et $t_5 = 20$ s est donc :

  $a = |a_z| = 9{,}8 \text{ m.s}^{-2}$

  Pendant ces 20 premières secondes de chute, Félix Baumgartner se situe entre 37 et 39 km d'altitude d'après le doc.2.
  Or d'après les données, la valeur du champ de pesanteur g dans cette zone est constante et égale à $9{,}8 \text{ m.s}^{-2}$.
  On remarque donc que $a = g$ pendant ces 20 premières secondes de chute.
  Cette phase du saut peut donc être considérée comme une chute libre.

2.2. D'après la courbe 2, Félix Baumgartner a atteint l'altitude $z = 30$ km à $t = 44$ s.
À cet instant, d'après la courbe 1, il avait une vitesse $v = 365 \text{ m.s}^{-1}$.
Celle-ci est supérieure à la célérité du son dans l'air à cette altitude, qui est de 301 m.s^{-1} d'après les données.
Félix Baumgartner a donc atteint une vitesse supersonique lors de son saut.

2.3.

- Notons A le point d'où Félix Baumgartner a sauté et B celui où il a atteint sa vitesse maximale.
  La variation d'énergie mécanique du système entre ces 2 points est :
  $\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = E_c(B) + E_{pp}(B) - E_c(A) - E_{pp}(A)$

  Or : $E_c(B) = \frac{1}{2} m v_B^2 = \frac{1}{2} m v_{max}^2$

  $E_{pp}(B) = mgz_B$ (en choisissant z = 0 comme altitude de référence pour l'énergie potentielle de pesanteur)

  $E_c(A) = \frac{1}{2} m v_A^2 = 0$ J car $v_A = 0 \text{ m.s}^{-1}$

  $E_{pp}(A) = mgz_A$

  Donc $\Delta E_m = \frac{1}{2} m v_{max}^2 + mgz_B - mgz_A$

  $= \frac{1}{2} m v_{max}^2 + mg\,(z_B - z_A)$

- D'après le texte d'introduction, $v_{max} = 1341{,}9 \text{ km.h}^{-1} = \frac{1341{,}9 \times 10^3}{3600} \text{ m.s}^{-1} = 372{,}8 \text{ m.s}^{-1}$

  De plus, d'après la courbe 1, la vitesse maximale est atteinte à $t = 49$ s.
  On en déduit, à l'aide de la courbe 2, que l'altitude correspondante est : $z_A = 28$ km
  On obtient ainsi :
  $\Delta E_m = \frac{1}{2} \times 120 \times 372{,}8^2 + 120 \times 9{,}8 \times (28 \times 10^3 - 39 \times 10^3) = -4{,}6 \times 10^6$ J

- $\Delta E_m < 0$: il y a diminution de l'énergie mécanique du système.
  Cette variation de l'énergie mécanique entre A et B est due aux forces non conservatives s'exerçant sur le système (force de frottement $\vec{f}$) : $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f})$

2.4. D'après la courbe 1 :

À la date t_1 = 40 s, la vitesse v augmente donc la force poids (orientée vers le bas) prédomine sur la force de frottement de l'air (orientée vers le haut) : schéma B.

À la date t_3 = 60 s, la vitesse v diminue donc la force de frottement de l'air prédomine sur la force poids : schéma A

Donc le schéma C correspond à la date t_2 = 50 s.

2.5. Félix Baumgartner a ouvert son parachute au bout de 4 min 20 s (soit 260 s).

D'après la courbe 2, il était alors à une altitude de 2,5 km.

La distance restant à parcourir pour arriver jusqu'au sol est donc d = 2,5 km.

D'après le texte d'introduction, le saut a duré en totalité 9 min 3 s (ce qui correspond à 543 s), et Félix Baumgartner ayant ouvert son parachute au bout de 260 s, la durée entre l'ouverture du parachute et l'arrivée au sol est donc :

$\Delta t = 543 - 260 = 283$ s

D'après l'énoncé, on suppose que dans cette phase, le mouvement a été rectiligne uniforme.

La vitesse v étant constante, on obtient :

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2{,}5 \times 10^3}{283} = 8{,}8 \text{ m.s}^{-1}$$

2.6.

- bilan des forces extérieures appliquées au système :

  $\vec{P}$ son poids

  On néglige l'action de l'air (frottements de l'air et poussée d'Archimède)

- Soit C le point de départ et D le point d'arrivée, au niveau du sol.

  Le poids est une force conservative, donc il y a conservation de l'énergie mécanique.

  $\Rightarrow \quad E_m(D) = E_m(C)$

  $\Rightarrow \quad E_c(D) + E_{pp}(D) = E_c(C) + E_{pp}(C)$

  Or : $E_c(D) = \frac{1}{2} m v_D^2$

  $E_{pp}(D) = mgz_D = 0$ J car

  $E_c(C) = \frac{1}{2} m v_C^2 = 0$ J car $v_C = 0 \text{ m.s}^{-1}$

  $E_{pp}(C) = mgz_C$

On en déduit que : $\frac{1}{2} m v_D^2 = mgz_C$,

donc que : $z_C = \frac{v_D^2}{2g} = \frac{8{,}8^2}{2 \times 9{,}8} = 4{,}0$ m

La vitesse de 8,8 m.s^{-1} correspondrait donc à celle à l'arrivée au sol après une chute d'un $2^{\text{ème}}$ étage.

Cela serait donc dangereux.

Mais en réalité, il existe des techniques apprises par les parachutistes pour réduire la vitesse juste avant d'arriver au niveau du sol et de permettre ainsi de toucher le sol avec une vitesse beaucoup plus faible que les 8,8 m.s^{-1} calculés précédemment.