

## Etude du défi « Red Bull Stratos » réalisé par Félix Baumgartner

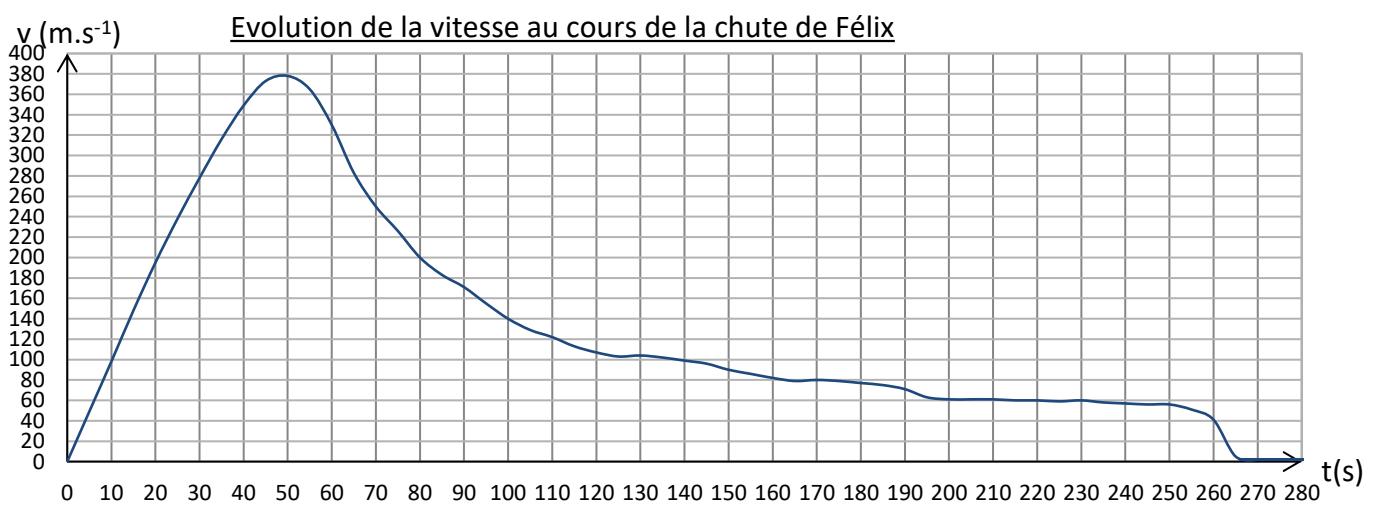
Red Bull Stratos est un défi visant à sauter en parachute depuis la stratosphère et franchir le mur du son. En octobre 2012, le Base Jumper Félix Baumgartner est monté dans la stratosphère au-dessus du Nouveau-Mexique dans un ballon à hélium. Le ballon atteint l'altitude de 38 969 m en un peu plus de deux heures. Baumgartner se lance dans une chute libre de 4 minutes et 19 secondes, atteignant la vitesse maximale de  $1\,360 \text{ km.h}^{-1}$  avant d'ouvrir son parachute et de se poser sans encombre après une chute totale de 9 minutes et 3 secondes.

[www.youtube.com/watch?v=raiFrxbHxV0](http://www.youtube.com/watch?v=raiFrxbHxV0)



Document 1 : Evolution de la vitesse de Félix Baumgartner

On a relevé sur la vidéo les valeurs de la hauteur de chute et de la vitesse à intervalles de temps réguliers ( $\tau = 5,0\text{s}$ ). Ces valeurs permettent de tracer le graphe ci-dessous, reproduit au verso.



Document 2 : chute libre

En physique, on parle de la chute libre d'un objet lorsque celui-ci chute sous l'action de son poids uniquement, et que les forces de frottements sont négligeables.

Lorsqu'un corps tombe en chute libre, sa vitesse suit la loi :  $v = g \cdot t$

où  $g$  est l'intensité de la pesanteur au lieu considéré

$t$  correspond au temps qui s'est écoulé depuis le début de la chute.

Remarque : ne pas confondre avec la « chute libre sportive » : phase avant l'ouverture du parachute.

Document 3 : force de frottement de l'air

La force de frottement modélise l'action de l'air sur les objets en mouvement. Le vecteur force de frottement  $\vec{f}$  a les caractéristiques suivantes :

- Direction : celle du mouvement
- Sens : opposé au mouvement
- Valeur (intensité) : proportionnelle au carré de la vitesse :  $f = k \cdot v^2$

Le coefficient  $k$  dépend de l'aérodynamisme de l'objet et de la densité d'air.

Ce coefficient s'exprime en  $\text{kg.m}^{-1}$

Rappel du cours : relation forces et mouvement

- Expression mathématique de la 1<sup>ère</sup> loi de Newton (principe de l'inertie) :  $\sum \vec{F} = \mathbf{0} \Leftrightarrow \vec{v} = \vec{cst}$
- Approche de la 2<sup>ème</sup> loi de Newton :  $\sum \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Données :

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$$

$$M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$$

$$R_T = 6,37 \times 10^3 \text{ km}$$

Masse de FB et de son équipement :  $m = 120 \text{ kg}$

Intensité de la pesanteur :  $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

t (s)	h (m)	v (m/s)
0	0	0
5	160	49
10	530	98
15	1180	148
20	2213	195
25	3134	238
30	4427	278
35	5989	
40	7575	349
45	9384	373
50	11200	378
55	13084	365
60	14940	330
65	16341	283
70	17699	250
75	18922	226

- Un extrait des relevés effectués dans les 70 s du début de chute est donné ci-contre.
  - Montrer que les valeurs de durée de chute sans parachute et de vitesse maximale atteinte annoncées dans l'introduction sont en accord avec les données du graphique et des relevés.
  - En utilisant les données du tableau, calculer la valeur de la vitesse à la date  $t = 35,0 \text{ s}$ .
  - Montrer que la variation du champ de pesanteur entre l'altitude du début de la chute et le sol est inférieure à 2%.  
On considèrera par la suite que le champ de pesanteur est constant et vaut  $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  pendant toute la durée de la chute.
- Tracer sur le graphe au verso la courbe représentant l'évolution de la vitesse d'un corps en chute libre. Justifier la « courbe » tracée.  
Jusqu'à quelle date peut-on considérer la chute comme libre (du point de vue physique). Justifier la réponse.
- Proposer une explication qui justifie le fait que la chute n'est plus libre à partir de l'instant défini précédemment ? Faire le bilan des forces sur FB et expliquer qualitativement (sans calcul) l'évolution de la vitesse entre  $t = 25,0 \text{ s}$  et  $t = 50,0 \text{ s}$ .
- On s'intéresse à l'instant  $t = 40,0 \text{ s}$ . Le système étudié est  $\{FB\}$ .
  - En utilisant les informations du tableau, montrer que le vecteur  $\overrightarrow{\Delta v_{45}}$  est orienté vers le bas et calculer la valeur de  $\frac{\Delta v_{45}}{\Delta t}$ .
  - En utilisant la 2<sup>ème</sup> loi de Newton, montrer que  $P > f$ . Dessiner  $\vec{f}$  sur le graphe au verso en respectant sa longueur relative par rapport au poids.
  - Calculer  $f$  et en déduire une valeur de  $k$ .

On s'intéresse à l'instant  $t = 70 \text{ s}$ . En suivant la même démarche que dans la question 5, déterminer la valeur de  $k$ . Proposer une explication à sa variation.
- Expliquer qualitativement (sans calcul) l'évolution de la vitesse après l'instant  $t = 70,0 \text{ s}$  jusqu'au moment de l'ouverture du parachute. Dessiner  $\vec{f}$  sur le graphe au verso pour les schémas correspondant à cette phase.
- A  $t = 200 \text{ s}$ , on donne la valeur  $k = 0,32$ . Calculer en  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$  la valeur de la vitesse atteinte dans l'intervalle  $200 \text{ s} < t < 250 \text{ s}$ . Cette valeur est-elle compatible avec la valeur estimée par lecture graphique.
- Préciser sur quel est l'effet de l'ouverture du parachute sur le coefficient  $k$  et expliquer les conséquences sur les forces et l'évolution de la vitesse qui s'en suit. Dessiner  $\vec{f}$  sur le graphe au verso pour les schémas correspondant ces phases.
- Entre l'instant  $t = 250 \text{ s}$  et l'instant  $t = 265 \text{ s}$ , on modélise la force de frottement du parachute par une force constante  $f = 1630 \text{ N}$ . Estimer par un calcul la valeur de la vitesse à  $t = 265 \text{ s}$ .

