

Le saut de Félix Baumgartner

Red Bull Stratos est un projet impliquant le parachutiste autrichien Felix Baumgartner. Baumgartner est monté à 40 km environ dans la stratosphère au-dessus du Nouveau-Mexique (États-Unis) dans un ballon à hélium avant d'exécuter sa chute libre dans une combinaison pressurisée et d'atterrir en parachute. Le lancement du ballon stratosphérique a eu lieu le 14 octobre 2012 à 17 h 31, heure française, supervisé par un centre de contrôle (mission control) basé à Roswell dans l'état américain du Nouveau-Mexique et retransmis en direct sur internet.



Le ballon atteint l'altitude de 38 969 m (environ 40 km) en un peu plus de deux heures. Baumgartner se lance dans sa chute, atteignant la vitesse maximale de $1\,357,6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, soit Mach 1,25 au bout de 50 secondes environ. Ensuite, la force de traînée prend le dessus, et le sauteur se met à décélérer fortement. Il faut attendre environ 2 min et 30 secondes, vers 10 kilomètres d'altitude, pour que le sauteur atteigne sa vitesse limite de chute, comme tout parachutiste ordinaire ! Il ouvrira ensuite son parachute et se pose sans encombre après une chute totale de 9 minutes et 3 secondes.

VISIONNER LA VIDEO <https://www.youtube.com/watch?v=raiFrxbHxV0>

De t= 0 à t= 50 secondes

1. Expliquer pourquoi le mouvement a été très accéléré pendant les premières 50 secondes
2. Au bout de combien de temps précisément et à quelle altitude Baumgartner a atteint sa vitesse maximale ? (et quelle est cette vitesse ?)
3. Pourquoi peut-on, en première approximation, qualifier cette première phase de "chute libre" ?
4. En théorie, lors d'une chute totalement libre au voisinage de la Terre, la vitesse augmente de 10 m/s chaque seconde (9,8 m/s exactement)
 - Montrer que la chute de Baumgartner pendant les 50 premières secondes n'est pas « libre ».
 - Quelle vitesse aurait-il atteint si la chute avait été totalement « libre » ?
 - Qu'est-ce qui explique cet écart ?
5. 1^{ère} S : Après avoir calculé l'intensité de la pesanteur à 40 km d'altitude puis à 28 km d'altitude, calculer la vitesse qu'il aurait atteint à 28 km d'altitude si sa chute avait été libre. Vous devez retrouver la valeur trouvée en 4. environ
6. 1^{ères} S : En prenant comme masse de Baumgartner et on équipement $m = 120 \text{ kg}$, calculer son énergie mécanique au départ du saut puis au bout des 50 premières secondes. Comparer les valeurs. Qu'est devenue l'énergie « manquante » ?

Après 50 secondes :

7. Quelle est la force qui est responsable de son ralentissement au bout de 50 secondes ?
8. Au bout de combien de temps et à quelle altitude Baumgartner a-t-il ouvert son parachute ?
9. Quelle est la « vitesse limite » de chute d'un parachutiste ? (avant ouverture du parachute !)
10. Pour récapituler, tracer l'allure du graphe de la vitesse du saut en fonction du temps en faisant figurer quelques valeurs clés
11. Baumgartner a-t-il franchi le « mur du son » ?

Données utiles :

- En physique, on parle de « chute libre » d'un corps lorsque ce corps n'est soumis qu'à son poids, la force qui l'attire vers la Terre. Tous les frottements de l'air sont alors négligeables.
- Quelle est l'épaisseur de l'atmosphère ? Réponse : Les différentes valeurs de l'épaisseur de l'atmosphère qu'on trouve dans la littérature dépendent d'un choix fait arbitrairement qu'il est utile de connaître. Ainsi, les valeurs suivantes peuvent être retenues :
 - 31 km (altitude en dessous de laquelle sont situés les 99 % de la masse de l'atmosphère)
 - 42 km (altitude en dessous de laquelle sont situés les 99,9 % de la masse de l'atmosphère)
- Rayon moyen de la Terre : 6371 km Masse de la Terre : $5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Constante de gravitation universelle : $G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Voir sujet de bac Métropole 2015 :

Sujet : <http://labolycee.org/2015/2015-Metropole-Exo1-Sujet-SautFelix-6-5pts.pdf>

Corrigé : <http://labolycee.org/2015/2015-Metropole-Exo1-Correction-SautFelix-6-5pts.pdf>

De t= 0 à t= 50 secondes

1. Pendant les premières 50 secondes , Baumgartner accélère fortement car les frottements dus à l'air sont faibles : l'attraction terrestre l'emporte largement sur ces forces de frottement
2. La vitesse maximale de Baumgartner est 1357,6 km/h . Il a atteint cette vitesse au bout de 50 s de chute et était alors à 28 km d'altitude
3. B. est quasiment en « chute libre » car de 31 km d'altitude à 42 km d'altitude , il n'y a que 99,9% -99% = 0,9 % de la masse totale de l'atmosphère ,c'est-à-dire que dans cette partie de l'atmosphère , l'air est très peu dense . En première approximation ,on peut donc négliger les frottements dus à l'air , la seule force appliquée est l'attraction terrestre : c'est une « chute libre » par définition
4. En théorie , lors d'une chute totalement libre au voisinage de la Terre , la vitesse augmente de 10 m/s chaque seconde (9,8 m/s exactement)
 - En chute réellement libre ,il aurait du atteindre la vitesse de $50 \times 9,8 = 490$ m/s soit 1764 km/h
 - Quelle vitesse aurait-il atteint si la chute avait été totalement « libre » ? voir ci-dessus
 - Les frottements de l'air expliquent cet écart (ces frottements augmentent au fur et à mesure de la chute pour deux raisons :
 - Augmentation de la densité de l'air au fur et à mesure qu'on s'approche de la Terre
 - Augmentation de la vitesse : plus ça va vite plus ça frotte

5. De façon générale : $g_z = \frac{G \times M_{Terre}}{(R_{Terre} + z)^2}$

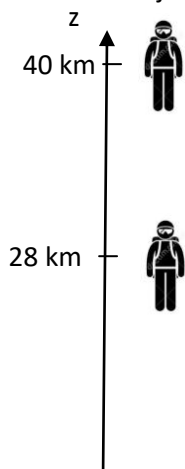
A 40 km d'altitude : $R_{Terre} + z = 6371 + 40 = 6411$ km = 6411×10^3 m

$$g_{40} = \frac{6,673 \cdot 10^{-11} \times 5,974 \cdot 10^{24}}{(6411 \times 10^3)^2} = 9,699 \text{ N.kg}^{-1} \approx 9,70 \text{ N.kg}^{-1}$$

A 28 km d'altitude : $R_{Terre} + z = 6371 + 28 = 6399$ km = 6399×10^3 m

$$g_{40} = \frac{6,673 \cdot 10^{-11} \times 5,974 \cdot 10^{24}}{(6399 \times 10^3)^2} = 9,736 \text{ N.kg}^{-1} \approx 9,74 \text{ N.kg}^{-1}$$

On utilise le principe de conservation de l'énergie et aussi ce qu'on a montré en TP : l'énergie mécanique d'un objet en chute libre « se conserve » (est constante lors de sa chute)



Etat initial (A) : $E_m(A) = E_{pp}(A) + E_c(A) = mg_A z_A + \frac{1}{2} m v_A^2$

Etat initial (B) : $E_m(B) = E_{pp}(B) + E_c(B) = mg_B z_B + \frac{1}{2} m v_B^2$

Ici la valeur de g dépend de la position (mais lorsqu'on étudie des mouvements au voisinage de la Terre , la valeur est identique 9,81 N.kg⁻¹)

L'énergie mécanique se conserve :

$$E_m(A) = E_m(B)$$

$$E_{pp}(A) + E_c(A) = E_{pp}(B) + E_c(B)$$

$$m g_A z_A + \frac{1}{2} m v_A^2 = m g_B z_B + \frac{1}{2} m v_B^2$$

On simplifie par la masse m :

$$g_A z_A + \frac{1}{2} v_A^2 = g_B z_B + \frac{1}{2} v_B^2$$

Or , Baumgartner part avec une vitesse initiale nulle : $v_A = 0$. On obtient donc :

$$\frac{1}{2} v_B^2 = g_A z_A - g_B z_B$$

$$v_B^2 = 2(g_A z_A - g_B z_B)$$

$$\text{Soit } v_B = \sqrt{2(g_A z_A - g_B z_B)}$$

AN :

$$v_B = \sqrt{2(9,70 \times 40000 - 9,74 \times 28000)} = 480 \text{ m.s}^{-1}$$

On retrouve une valeur proche des 490 m.s⁻¹

6. 1^{ère}S : En prenant comme masse de Baumgartner et on équipement $m = 120 \text{ kg}$, calculer son énergie mécanique au départ du saut puis au bout des 50 premières secondes .

Etat initial (A) :

$$E_m(A) = E_{pp}(A) + E_c(A) = m g_A z_A + \frac{1}{2} m v_A^2$$

$$= m(g_A z_A + \frac{1}{2} v_A^2) = 120 (9,70 \times 40000 + 0,5 \times 0^2) \approx 4,7 \cdot 10^7 \text{ J ou } \mathbf{47 \text{ MJ}}$$
 (Mégajoule)

Etat (B) : Attention la vitesse v_B n'est « que » de 1357,6 km/h soit $1357,6/3,6 = 377 \text{ m/s}$

$$E_m(B) = E_{pp}(B) + E_c(B) = m g_B z_B + \frac{1}{2} m v_B^2$$

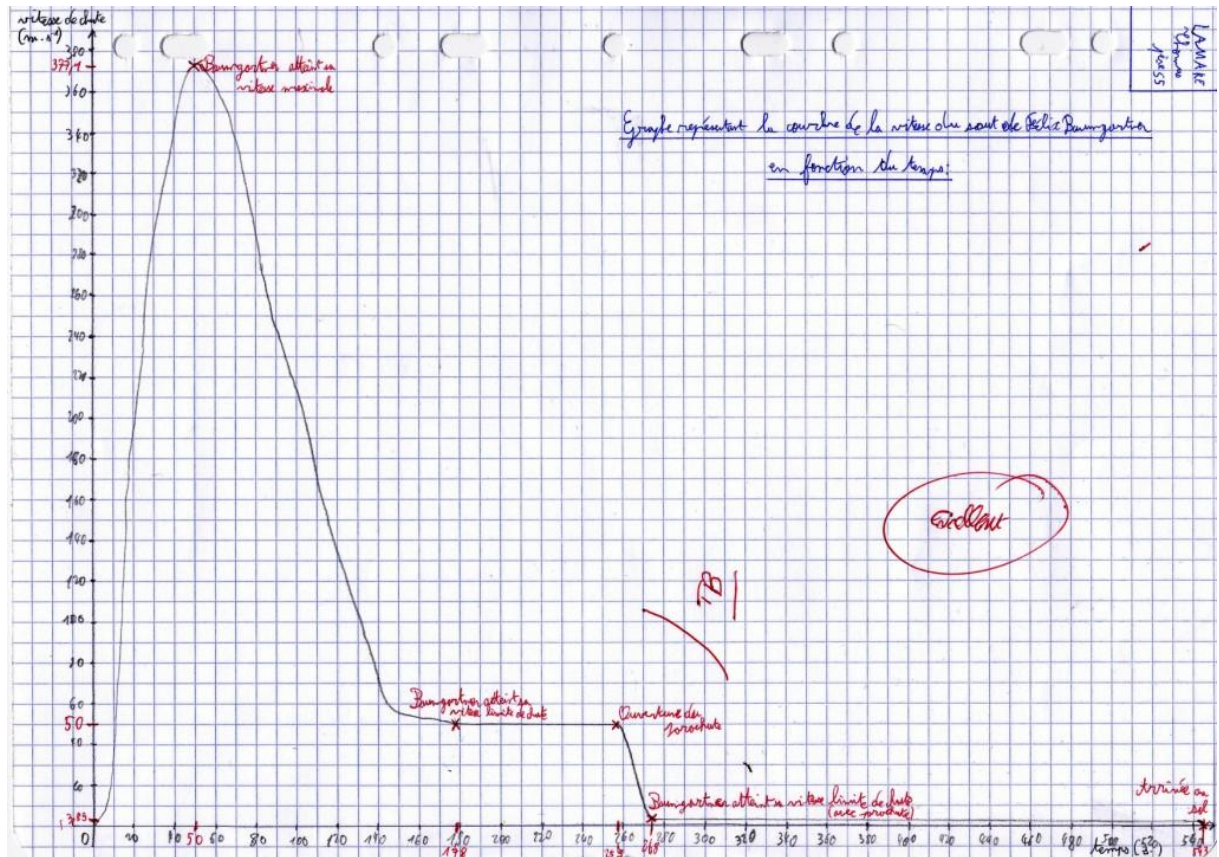
$$= m (g_B z_B + \frac{1}{2} v_B^2) = 120 (9,74 \times 28000 + 0,5 \times 377^2) \approx 4,1 \cdot 10^7 \text{ J ou } \mathbf{41 \text{ MJ}}$$
 (Mégajoule)

Comparaison : L'énergie mécanique à 28 km d'altitude est inférieure à la valeur à 40 km d'altitude : les 6 MJ « manquants » se sont dissipés en énergie thermique (ou « chaleur »)

Après 50 secondes :

- La force qui est responsable du ralentissement au bout de 50 secondes est la force de traînée (voir texte)
- Baumgartner a ouvert son parachute au bout de 4min16sec à environ 2,5 km d'altitude (il avait une vitesse de 206 km/h à ce moment là)
- La « vitesse limite » de chute d'un parachutiste est d'environ 200 km/h
- Allure du graphe de la vitesse du saut en fonction du temps avec quelques valeurs clés

Graphe de Thomas LAMARE :



11. Baumgartner a franchi le « mur du son » . En effet la vitesse du son dans l'air est 340 m/s et Baumgartner a atteint la vitesse de 377 m/s qui est supérieure

Remarque : en réalité la vitesse du son dans l'air dépend de l'altitude : voici quelques valeurs :

Altitude (km)	0	10	20	30	40
Vitesse du son (m/s)	340	305	297	301	318

A 28 km d'altitude, la valeur est vers 300 m/s

Baumgartner a donc largement dépassé la vitesse du son ($377 \text{ m/s} > 300 \text{ m/s}$) et d'ailleurs il a atteint

Mach 1,25 ($377/300 \approx 1,25$)