EXERCICE II - SAUT EN PARACHUTE (11 points)

Le jour d'un baptême de saut en parachute, le moniteur indique les consignes à respecter pendant le saut en tandem* et donne l'équipement nécessaire. Un caméraman est présent tout au long de la journée pour filmer les réactions des participants avant, pendant et après le saut.
Arrivé à l'altitude du saut, le pilote met l'avion à l'horizontale, réduit sa vitesse et la fixe à environ 120 km·h^{-1}. Le moniteur ouvre la porte, le tandem s'élance hors de l'avion, alors le saut débute. Environ 50 secondes de chute précèdent l'ouverture du parachute. Très vite, la vitesse verticale maximale est atteinte : environ 200 km·h^{-1}. Quand le parachute s'ouvre, à 1 500 m d'altitude, la descente « sous voile » (parachute ouvert) commence et dure de 5 à 10 minutes.

D'après le site Internet : sport découverte.com

* tandem : deux personnes associées.

L'objectif de cet exercice est d'étudier différentes phases du saut en parachute à l'aide de données expérimentales et de modèles.

Données :

- rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37\times10^6$ m ;
- valeur du champ de pesanteur terrestre au niveau du sol : $g_0 = 9{,}81$ m·s^{-2} ;
- masse du tandem avec son équipement : $m = 200$ kg.

1. Étude expérimentale du saut

Lors de son saut, un parachutiste a enregistré, à l'aide de sa montre connectée, l'altitude z au cours du temps t. L'enregistrement des données a débuté dès son entrée dans l'avion, sur la piste de décollage. À son retour, il réalise le graphique suivant en prenant comme origine des temps le début du saut.

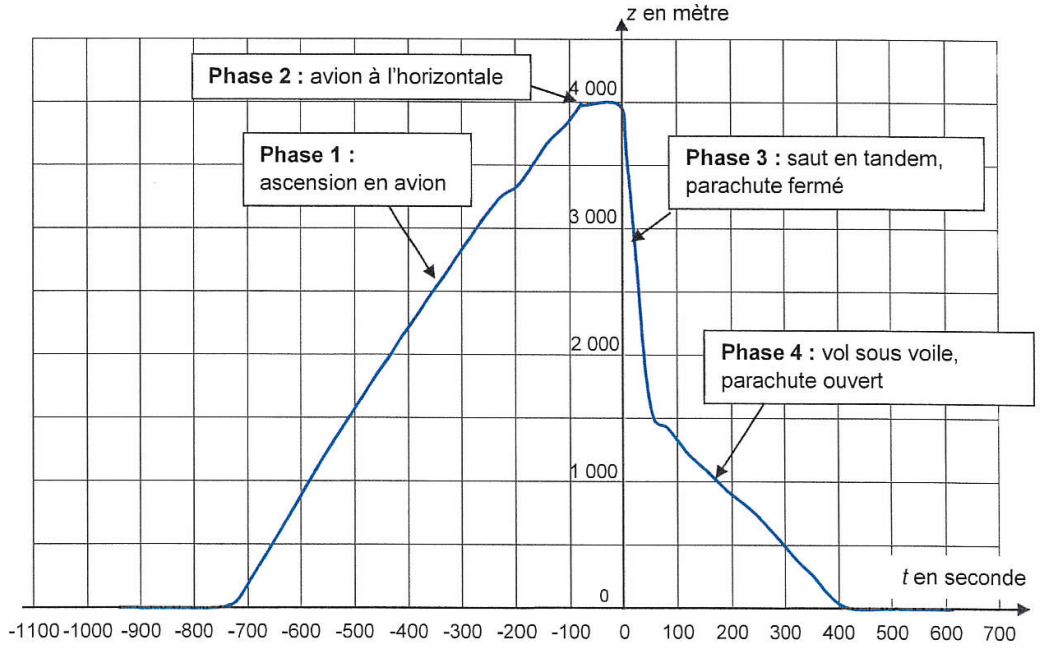


Figure 1. Représentation graphique de l'altitude z en fonction du temps

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 1 / 3
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

Les données recueillies ont été utilisées pour modéliser les équations horaires $z(t)$ correspondant aux phases 1, 2, 3 et 4 du saut, identifiées sur la figure 1.

1.1. Recopier et compléter le tableau ci-dessous, en justifiant brièvement l'affectation des équations horaires aux différentes phases.

$z_a(t) = -50\,t + 4{,}0\times10^3$ $\quad z_b(t) = -4{,}2\,t + 1{,}75\times10^3$ $\quad z_c(t) = 6{,}1\,t + 4{,}6\times10^3$ $\quad z_d(t) = 4{,}0\times10^3$

avec t en seconde, z en mètre et l'origine $z = 0$ prise au niveau du sol.

Phase	Équation horaire $z(t)$
1	
2	
3	
4	

1.2. Montrer que la valeur de la vitesse maximale verticale citée dans l'introduction est compatible avec les données enregistrées par la montre connectée.

2. Étude de la phase 3 du saut

On souhaite étudier l'influence de l'altitude z sur la valeur du champ de pesanteur g. On considère le critère suivant : la valeur g(z) reste constante si elle diffère de moins de 1 % de sa valeur au niveau du sol. L'expression de la valeur du champ de pesanteur g(z) en fonction de l'altitude z est la suivante :

$$g(z) = g_0\left(1 - \frac{2z}{R_T}\right) \text{ si } z << R_T$$

2.1. Peut-on considérer la valeur du champ de pesanteur comme constante et égale à g_0 tout au long du saut ? Justifier.

On étudie, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, le mouvement du système {tandem} de masse m au cours de sa chute dans le cadre du modèle de la chute libre. Ce mouvement est étudié dans un repère $(O ; \vec{i}, \vec{k})$. L'origine O du repère est placée au niveau du sol à la verticale de l'avion au moment du saut. Le plan de vol prévoit que le tandem soit largué de l'avion à une altitude h_0. La piste d'atterrissage a une longueur de 1 km et débute en O. Le tandem quitte l'avion avec une vitesse initiale de norme v_0 ; le vecteur $\vec{v_0}$ est horizontal.

On prend $v_0 = 33\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $h_0 = 4\,000$ m.

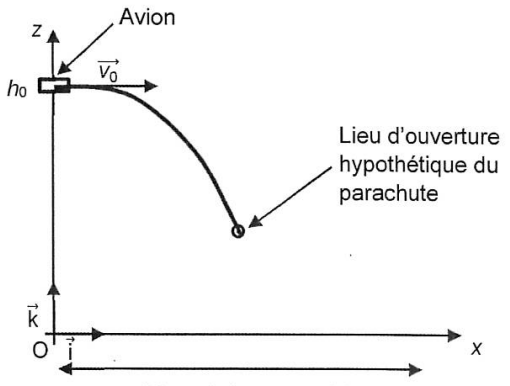


Figure 2. Schéma du mouvement juste après le saut (sans souci d'échelle)

2.2. Montrer que les coordonnées du vecteur accélération du système dans le repère $(O ; \vec{i}, \vec{k})$ sont :

$$a_x(t) = 0 \quad \text{et} \quad a_z(t) = -g_0$$

2.3. Établir que les équations horaires du mouvement du système s'écrivent :

$$x(t) = v_0\,t \quad \text{et} \quad z(t) = -g_0\frac{t^2}{2} + h_0$$

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 2 / 3
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

2.4. En déduire que l'équation de la trajectoire z(x) s'écrit :

$$z(x) = -g_0 \frac{x^2}{2v_0^2} + h_0$$

2.5. Le tandem ouvre son parachute à l'altitude z = 1 500 m. Montrer que, dans le cadre de ce modèle, cette ouverture s'effectue au-dessus de la piste.

2.6. Dans le cadre de ce modèle, calculer la valeur de la durée de la phase 3 et la comparer à celle déduite du graphique (figure 1). Conclure sur la pertinence du modèle de la chute libre utilisé dans cette étude.

3. Étude de la phase 4 du saut

Lors de la descente parachute ouvert, le moniteur guide le parachute de manière à maintenir une trajectoire verticale. La force $\vec{F_f}$ modélise l'action de l'air sur le système {tandem}.

3.1. Associer chacun des schémas (réalisés sans souci d'échelle) à un instant de la chute :

- juste après l'ouverture ;
- quelques secondes après l'ouverture.

Justifier à partir des données expérimentales de la partie 1.

Quelques secondes après l'ouverture du parachute, la chute du tandem se fait à vitesse constante. On étudie alors le mouvement dans ces conditions.

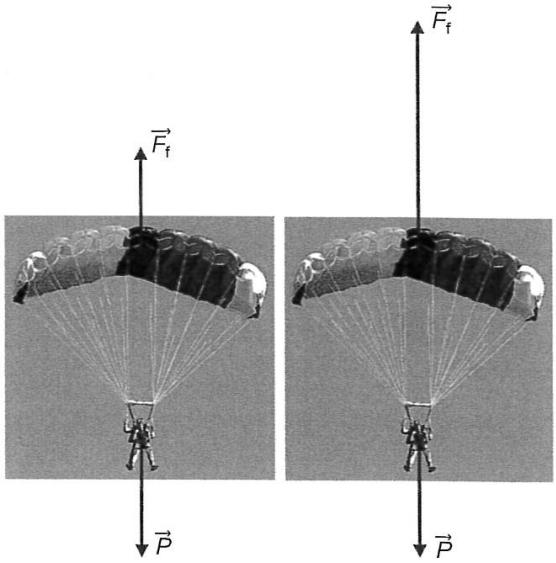


Schéma a Schéma b

3.2. Estimer la valeur de la vitesse verticale du tandem à partir des données expérimentales de la partie 1.

3.3. Déterminer la valeur, notée F_f, de la norme de la force $\vec{F_f}$ qui modélise l'action de l'air sur le système {tandem}.

3.4. L'expression de F_f est donnée par la relation $F_f = k\,v_z^2$, où k est une constante de l'étude et v_z désigne la coordonnée selon l'axe Oz de la vitesse du parachutiste. Montrer que la valeur de la constante k est de $1{,}1 \times 10^2$ S.I. Préciser l'unité de la constante k.

3.5. Calculer la valeur de l'énergie cinétique du tandem avant l'arrivée au sol.

3.6. Le tandem possède un parachute de secours plus petit que le parachute principal. On admet que la valeur de la constante k_S de la force de frottement exercée par ce parachute vérifie la relation : $k_s = \frac{k}{2}$. Dans le cas où ce parachute de secours est utilisé, déterminer la valeur de la vitesse verticale v_{zs} ainsi que celle de l'énergie cinétique du tandem avant l'arrivée au sol. Commenter.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 3
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer