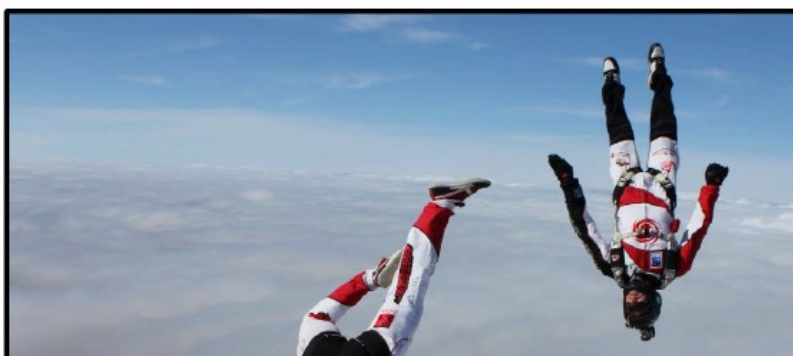


SPORT EXTRÊME

Depuis quelques années, les sports extrêmes sont de plus en plus prisés par les adeptes de sensations fortes. On voit en effet apparaître des disciplines comme la « chute libre », le *base-jumping* ou le *wing-suit* ; toutes ont en commun de se laisser tomber dans le champ de pesanteur avec un parachute comme filet de sécurité.

L'essor des matériaux et l'évolution des systèmes de sécurité ont permis de pratiquer ces activités dans des conditions plus sereines, que ce soit occasionnellement, comme lors de premières expériences, ou de façon plus régulière pour les amateurs-rices.

Le sujet proposé étudie quelques aspects techniques de la pratique du parachutisme.



PARTIE A – MÉCANIQUE DU SAUT EN « CHUTE LIBRE »

Une parachutiste saute d'un avion à une altitude de 4,5 km. Pour simplifier, on ne considèrera que le mouvement vertical et la vitesse initiale sera supposée nulle.

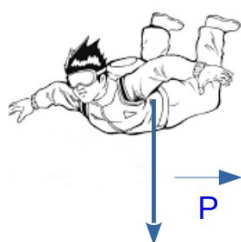
La montre connectée de la parachutiste a permis d'obtenir l'évolution de son altitude et de sa vitesse lors du saut. Elles sont représentées sur l'annexe A3 de la page 6. Deux phases se distinguent ; elles seront étudiées successivement.

Données

Masse du parachutiste avec équipement :	$m' = 80 \text{ kg}$
Volume du parachutiste :	$V = 70 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
Masse volumique de l'air :	$\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Intensité de la pesanteur :	$g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
Altitude de départ :	$z = 4,5 \text{ km}$

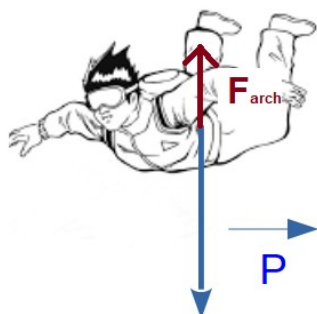
A.1 Première phase : $0 < t < 3$ s

A.1.1 Donner les caractéristiques (direction, sens, norme et point d'application) du poids qui s'applique sur la parachutiste.



Vertical, vers le bas, s'applique en G.
 $P = m \cdot g = 785 \text{ N}$

A.1.2 Montrer, à l'aide du document de l'annexe A1 de la page 5, que l'on peut négliger la poussée d'Archimède qui s'applique sur la parachutiste.



$$F_{\text{arch}} = 1,2 \cdot 70 \times 10^{-3} \cdot 9,81 = 0,82 \text{ N} \ll 785 \text{ N}$$

Annexe A1 : poussée d'Archimède

Tout corps plongé dans un fluide (comme l'air ou l'eau) subit de la part de ce fluide une force (poussée), verticale, vers le haut dont l'intensité est égale au poids du volume de fluide déplacé (ce volume est donc égal au volume immergé du corps). L'intensité, π_a , de la poussée d'Archimède peut donc se calculer par :

$$\pi_a = \rho_{\text{fluide}} \times V_{\text{corps}} \times g$$

avec :

ρ_{fluide} : masse volumique du fluide en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

V_{corps} : volume immergé (dans le fluide) du corps en m^3

A.1.3 Justifier, sans calcul et à l'aide du document de l'annexe A2 de la page 5, que l'on peut négliger la force de trainée pendant cette première phase.

L'intensité de cette trainée s'exprime par la relation :

$$F_X = \frac{1}{2} \times \rho_a \times S \times C_X \times v^2$$

avec :

v : vitesse du solide en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,

ρ_a : masse volumique du fluide en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,

S : surface frontale ou maître couple en m^2

C_X : coefficient sans unité reflétant l'aérodynamisme

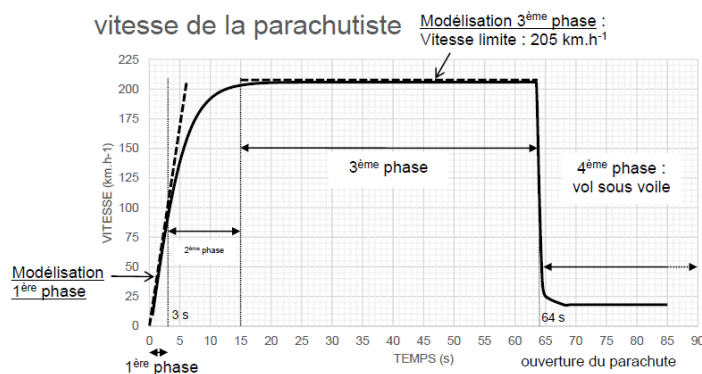
Les premiers mètres, la vitesse du parachutiste est encore suffisamment faible pour considérer que la trainée est petite par rapport au poids.

A.1.4 Rappeler l'expression mathématique du principe fondamental de la dynamique. Montrer que la valeur de l'accélération de la parachutiste pendant cette première phase est $a = g$.

Sur l'axe vertical $\sum F_z = m \cdot a_z$ donc $P = m \cdot g = m \cdot a$ donc $a = g$

A.1.5 On modélise la courbe par la droite en pointillé représentée sur l'annexe A3 de la page 6 : comment qualifier le mouvement lors de cette première phase ?

Annexe A3 : Évolutions de la vitesse et de l'altitude de la parachutiste pendant le saut



Sur la première phase, le mouvement est rectiligne accéléré.

La vitesse évolue linéairement avec le temps ($v=at$)

A.1.6 Montrer que l'on peut estimer la distance, d_1 , parcourue par la parachutiste pendant les 3 premières secondes, à $d_1 \approx 44 \text{ m}$.

Données

Pour un mouvement rectiligne uniformément accéléré : $d = \frac{1}{2} \times a \times t^2 + v_0 \times t$

Pour un mouvement rectiligne uniforme : $d = v_0 \times t$

avec : t : temps en secondes

a : accélération en m.s^{-2}

v_0 : vitesse initiale en m.s^{-1}

$$d_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t \text{ avec } v_0 = 0 : d_1 = \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot 3^2 = 44 \text{ m}$$

Remarque : la deuxième phase ($3 \text{ s} < t < 15 \text{ s}$) est trop délicate à étudier ici.

A.2 Troisième phase : $15 \text{ s} < t < 64 \text{ s}$

A.2.1 Comment qualifier le mouvement de la parachutiste pendant la troisième phase ?

Sur la deuxième phase, le mouvement est rectiligne uniforme
avec $v_{\text{limite}} = 205 \text{ km.h}^{-1}$.

A.2.2 Nommer les forces non négligeables qui agissent pendant la troisième phase de la chute. Le terme de « chute libre », au sens du physicien ou de la physicienne, correspond au cas où un objet n'est soumis qu'à l'action de la pesanteur. La parachutiste est-elle en « chute libre » au sens de la physique ?

Les forces non négligeables agissant ici sont le poids et la traînée (vitesse limite atteinte non négligeable). La parachutiste n'est pas en chute libre au sens du physicien.



A.2.3 On montre que la distance, d_2 , parcourue par la parachutiste pendant la troisième phase peut s'évaluer par $d_2 = v_{\text{limite}} \times (t - 15)$ où t représente le temps, en s, et v_{limite} , la vitesse limite en m.s^{-1} . Montrer que la distance parcourue pendant cette phase, jusqu'à l'ouverture du parachute, peut s'estimer à $d_2 \approx 2,8 \times 10^3 \text{ m}$.

$$d_2 = v_{\text{limite}} \times (t - 15)$$

$$\text{avec } v_{\text{limite}} = 205 \text{ km.h}^{-1} = 57 \text{ m.s}^{-1}$$

L'ouverture du parachute a lieu à $t = 64 \text{ s}$

$$d_2 = 57 \times (64 - 15) = 2793 \text{ m}$$

A.2.4 Sachant que la parachutiste a parcouru environ 550 m pendant la deuxième phase, en déduire la distance totale, d , parcourue lors de la chute, c'est-à-dire jusqu'à ouverture du parachute.

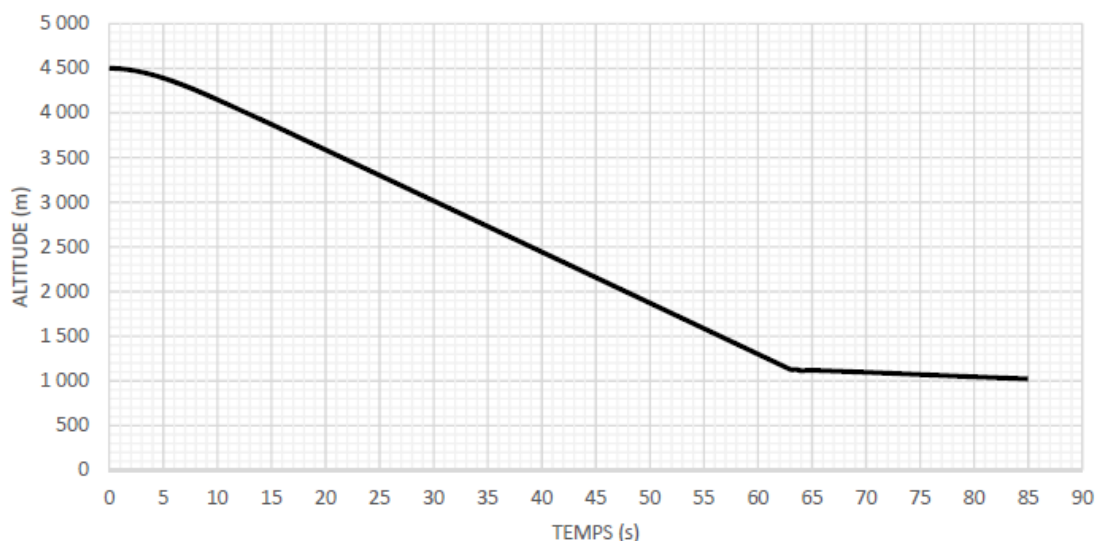
Le résultat est-il en accord avec le relevé altimétrique ? Justifier.

$$d_{\text{tot}} = 2800 + 550 = 3350 \text{ m}$$

D'après l'annexe A3, la perte d'altitude vaut

$$d = 4\,500 - 1\,100 = 3\,400 \text{ m} \text{ le résultat est cohérent.}$$

altitude de la parachutiste



A.2.5 En appliquant le principe fondamental de la dynamique à la parachutiste, montrer que l'intensité de la trainée vaut $F_x = 785 \text{ N}$.

D'après le PFD appliqué au m.r.u. (on suppose le mvt vertical) $\sum F = m \cdot a = 0$ donc $F_x = P = 785 \text{ N}$.

A.2.6 On suppose que la parachutiste adopte une position « étendue » (horizontale et bras écartés) pendant toute la chute et pour laquelle la surface frontale vaut $S = 1,0 \text{ m}^2$. Déterminer avec une précision de 2 chiffres significatifs, le C_x de la parachutiste dans cette position.

Annexe A2 : force de trainée aérodynamique ou force de frottement fluide

Lorsqu'un solide se déplace dans un fluide (l'air ou l'eau), pour des vitesses relativement importantes, une force de résistance aérodynamique s'oppose au déplacement.

L'intensité de cette trainée s'exprime par la relation :

$$F_x = \frac{1}{2} \times \rho_a \times S \times C_x \times v^2$$

avec :

v : vitesse du solide en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,

ρ_a : masse volumique du fluide en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,

S : surface frontale ou maître couple en m^2

C_x : coefficient sans unité reflétant l'aérodynamisme

Forme		Coefficient de trainée
Sphère →		0.47
Demi-sphère →		0.42
Cube →		1.05
Corps profilé →		0.04
Semi-corps profilé →		0.09

Mesures des coefficients de trainée

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot \rho_a \cdot S \cdot C_x \cdot v^2 \text{ avec } v = 57 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

$$\text{d'où } C_x = 785 / 0,5 / 1,0 / 1,2 / 57^2 = 0,40.$$

A.2.7 En déduire la forme à laquelle la parachutiste peut être assimilée.

En accord si on considère que la forme du parachutiste en mode étendue se rapproche d'une demi-sphère.