



Examen CCF2 de Biomécanique du mouvement

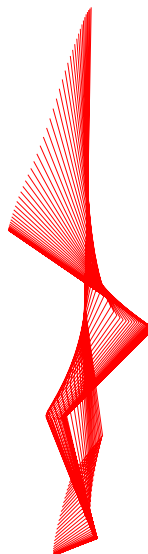
Document autorisés : aucun

**IMPORTANT** : Ce sujet d'examen est long, mais il ne s'agit pas de tout faire ; faites-en le maximum !

**Exercice 1.** *Étude d'un squat jump*

Poursuivons l'étude du squat jump commencée en CCF1. On rappelle que le sujet réalise un squat jump dans le plan sagittal.

kinogramme lissé



L'impulsion débute quand le sujet se met en mouvement (à  $t = 0$ ) et s'achève quand le sujet décolle (à  $t = 0.536$ ).

- (1) Dans tout cette question 1, on se place à  $t = 0.39$ . On donne les valeurs suivantes de  $m$ , la masse du sportif et de  $g$  :

$$g = 9.810 \text{ ms}^{-2}, \quad (1)$$

$$m = 70.5941 \text{ kg}. \quad (2)$$

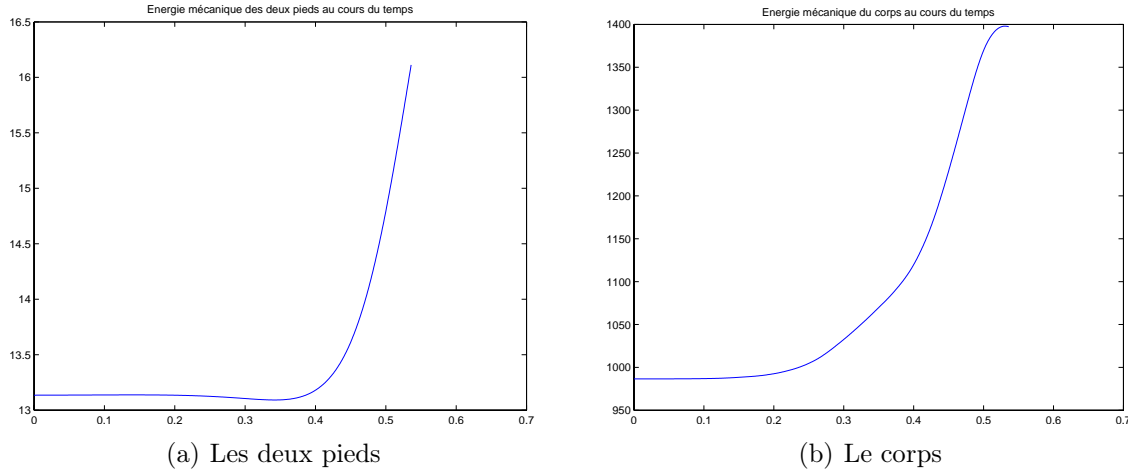


FIGURE 1. Énergie mécanique totale au cours du temps.

ainsi que les masses  $m_1$  des deux pieds et la longueur  $l_1$  d'un pied.

$$l_1 = 0.15234 \text{ m}, \quad (3)$$

$$m_1 = 2.0472 \text{ kg}. \quad (4)$$

L'accélération  $\vec{a}_G$  du centre de masse du corps, l'accélération  $\vec{a}_{G_p}$  du centre de masse de l'ensemble des deux pieds, et la réaction d'appui  $\vec{R}$  mesurée sont données par

$$\vec{A}_G = \begin{pmatrix} 1.50353 \\ 9.80593 \end{pmatrix}, \quad \vec{a}_{G_p} = \begin{pmatrix} -0.45744 \\ 3.40486 \end{pmatrix}, \quad \vec{R} = \begin{pmatrix} 81.65368 \\ 1385.30314 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

- (a) Caractériser les forces externes agissant sur le sportif.
- (b) Caractériser les forces externes agissant sur les deux pieds.

(2) *Étude énergétique*

Tous les tableaux sont donnés à la fin de l'énoncé, à partir de la page 7.

- (a) Dans toute cette question 2a, on se place de nouveau à  $t = 0.39$ . On considérera comme d'habitude le système formé par l'ensemble des deux pieds, supposé former un segment rigide indéformable.
  - (i) Grâce au tableau 1 page 7, déterminer le moment d'inertie de l'ensemble des deux pieds.
  - (ii) Grâce aux tableaux 2 à 4 page 7, déterminer pour l'ensemble des deux pieds, l'énergie mécanique à  $t = 0.39$ .

(b)

Sur la figure 1(a) est représentée l'énergie mécanique totale de l'ensemble des deux pieds au cours du temps. Commentez et expliquez.

- (c) Succinctement, décrivez comment vous procéderiez pour déterminer l'énergie mécanique totale de tout le corps à l'instant  $t = 0.39$ .

(d) Sur la figure 1(b) page précédente est représentée l'énergie mécanique totale du corps au cours du temps. Commentez et expliquez.

(3) *Étude en vol libre*

Dans toute cette question 3, on étudie le vol libre, qui commence à la fin de la phase d'impulsion, quand le sujet quitte le sol. On admet qu'on peut négliger les forces de frottement de l'air.

Les coordonnées du centre de masse du corps à cet instant sont :

$$x_G = 0.57922 \text{ m}, \quad (6)$$

$$y_G = 1.81147 \text{ m}. \quad (7)$$

Celles de la vitesses du centre de masse du corps sont

$$\dot{x}_G = 0.14176 \text{ ms}^{-1}, \quad (8)$$

$$\dot{y}_G = 2.10996 \text{ ms}^{-1}. \quad (9)$$

On fait un changement de repère en temps et en espace, de telle sorte que, pour toute la fin de l'énoncé, à  $t = 0$ , les coordonnées du centre de masse du corps sont

$$x_0 = 0, \quad y_0 = 0, \quad (10)$$

et celles de la vitesses du centre de masse données par les équations (8)-(9). On en déduit donc la norme de la vitesse initiale du centre de masse

$$v_0 = 2.11471 \text{ ms}^{-1}. \quad (11)$$

Cette vitesse fait un angle initial avec l'horizontale

$$\alpha = 86.15618^\circ \quad (12)$$

- (a) Déterminer les équations horaires du centre de masse de tout le corps.
- (b) En déduire l'équation cartésienne du centre de masse de tout le corps.
- (c) Calculer la flèche.
- (d) Calculer la portée.

**Exercice 2.**

On prend un peu de hauteur (sans essayer de trop planer) et on étudie le wingsuit, combinaison utilisée par des parachutistes, pour augmenter leur durée de vol (quand le parachute est fermé).



Un parachutiste, équipé d'un wingsuit, s'élance du sommet (d'altitude  $H$ ) d'une haute falaise avec une vitesse purement horizontale de norme  $v_0$ . On suppose que l'air est calme et qu'il n'y a donc aucun vent.

*Les figures avec des courbes et les tableaux sont tous donnés à la fin, à partir de la page 8.*

- (1) Sur la figure 3 page 9, se trouvent représentées sa trajectoire au début du mouvement, ainsi que les normes de son poids et des forces de traînée et de portance au cours du temps. Sur la figure 3(a) page 9, on a aussi représentée la trajectoire qu'aurait le parachutiste s'il n'y avait pas de force de frottement (chute libre).

- (a) Commentez ces courbes. Expliquez-les en mettant en relation les figures 3(a) et 3(b).  
 (b) On donne

$$v_0 = 1.3756 \text{ kmh}^{-1}, \quad (13)$$

$$H = 1200 \text{ m}. \quad (14)$$

Déterminer la diminution d'altitude par rapport au point de départ pour un déplacement horizontal  $x = 5 \text{ m}$ .

On pourra utiliser, sans le redémontrer le résultat de la question 3b page précédente de l'exercice 1.

- (2) Sur la figure 4 page 10, se trouvent représentées sa trajectoire complète (jusqu'au moment où le parachutiste ouvre son parachute), ainsi que les normes de son poids et des forces de traînée et de portance *représentées en fonction de l'altitude  $y$* .

- (a) Que se passe-t-il en dessous de 700 m ?  
 (b) Quelles sont alors les valeurs approximatives des forces de traînée et de portance ?

(c) Dans le tableau 5 page 8, vous trouverez quelques valeurs de l'altitude  $y$ , des normes de la vitesse  $v$ , des forces de portance  $F_P$ , de traînée  $F_T$  et leurs rapport pour quelques valeurs de temps.

(i) Au vu de ces valeurs et de la figure 4 page 10, pourquoi peut-on tenir la vitesse comme à peu près constante en-deça de 700 m ?

(ii) Si la vitesse est constante, quelle est l'accélération du parachutiste ? En déduire que

$$m\vec{g} + \vec{F}_T + \vec{F}_P = \vec{0}. \quad (15)$$

(iii)

*Questions facultatives*

Dans toute cette question 2(c)iii, on étudie le parachutiste en dessous de 700 m.

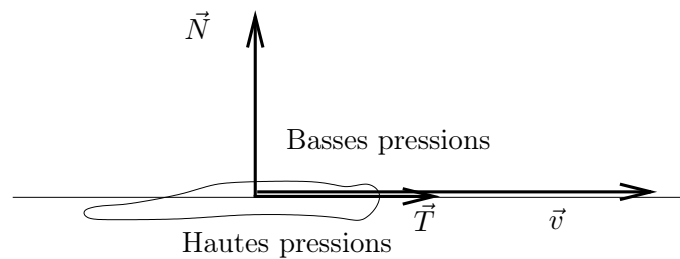


FIGURE 2. Le parachutiste en vol.

Sur la figure 2, on a représenté schématiquement le parachutiste et le vecteur vitesse  $\vec{v}$ .

Sur cette figure, le parachutiste n'est pas réellement orienté !

(A) En admettant que la zone de haute pression est en dessous du parachutiste et que la zone de basse pression est au dessus du parachutiste (voir figure 2), tracez schématiquement cette figure sur votre copie et tracez-y les forces de traînée et de portance. Justifiez votre représentation.

(B) En utilisant l'équation (15) page 5, pouvez-vous tracer le poids  $m\vec{g}$  sur ce dessin ?

(C) En déduire que si on note  $\beta$ , l'angle entre l'horizontale et le vecteur vitesse, on a

$$\frac{F_P}{F_T} = \frac{1}{\tan \beta}. \quad (16)$$

Calculer l'angle  $\beta$ . On donne

$$\text{arctg}(1/4) \approx 14^\circ.$$

(D) Si on introduit  $\gamma_P$  et  $\gamma_T$  tels que  $F_P = \gamma_P v^2$  et  $F_T = \gamma_T v^2$ , montrer que la vitesse limite  $v_l$  vaut

$$v_l = \frac{\sqrt{mg}}{\sqrt[4]{\gamma_P^2 + \gamma_T^2}}. \quad (17)$$

- (E) Expliquer alors cette phrase (due à Loic-Jean Albert, qui a beaucoup contribué au développement du wingsuit) : «On ralentit la vitesse verticale de chute, que l'on transforme grâce à la combinaison en vitesse horizontale, et l'on parvient à parcourir 4 à 5 kilomètres à l'horizontale».

## Corrigé

Un corrigé sera disponible sur <http://utbmjb.chez-alice.fr/UFRSTAPS/index.html>

## Ensemble des tableaux de l'exercice 1

|        |       |
|--------|-------|
| pied   | 0.072 |
| jambe  | 0.128 |
| cuisse | 0.136 |
| tronc  | 0.313 |

TABLE 1. Rayon de giration de chaque segment

| temps   | $y_{G,p}$ |
|---------|-----------|
| 0.00000 | 0.65402   |
| 0.19000 | 0.65405   |
| 0.29000 | 0.65270   |
| 0.39000 | 0.65327   |
| 0.49000 | 0.69061   |

TABLE 2. Quelques ordonnées (en m) du centre de masse de l'ensemble des deux pieds

| temps   | $v_{G,p}$ |
|---------|-----------|
| 0.00000 | 0.00069   |
| 0.19000 | 0.01519   |
| 0.29000 | 0.02940   |
| 0.39000 | 0.13312   |
| 0.49000 | 0.75466   |

TABLE 3. Quelques normes de vitesses (en  $\text{ms}^{-1}$ ) du centre de masse de l'ensemble des deux pieds

| temps   | $\omega$ |
|---------|----------|
| 0.00000 | -0.00286 |
| 0.19000 | 0.00074  |
| 0.29000 | 0.19348  |
| 0.39000 | 1.19024  |
| 0.49000 | 2.40367  |

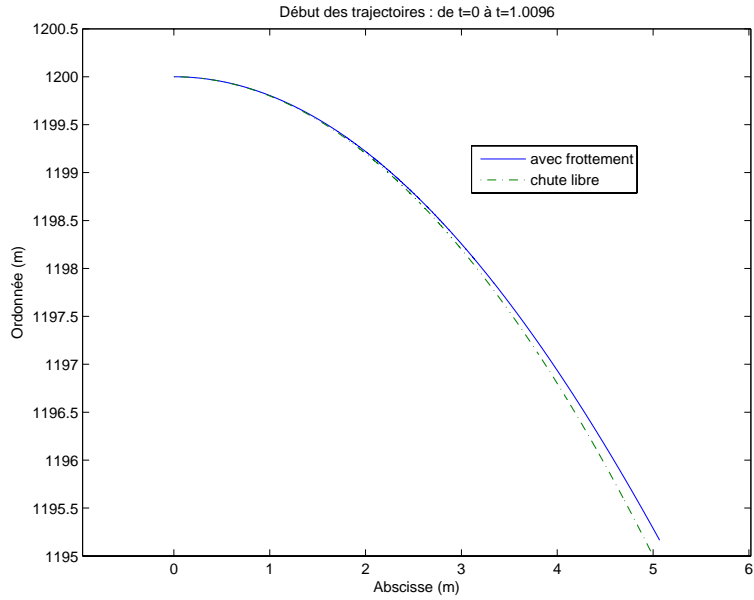
TABLE 4. Quelques vitesses angulaires (en radian par seconde) du pied

**Ensemble des figures et des tableaux de l'exercices 2**

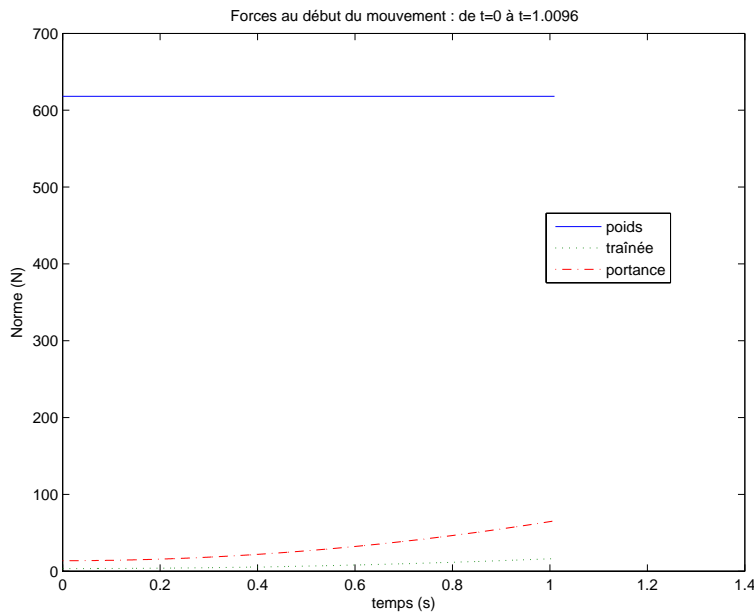
| temps    | $y$       | $v$      | $F_P$     | $F_T$     | $F_P/F_T$ |
|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 27.99160 | 902.14445 | 32.47059 | 588.39168 | 147.09792 | 4.00000   |
| 34.99300 | 848.36757 | 32.77743 | 599.56461 | 149.89115 | 4.00000   |
| 41.99440 | 791.16055 | 32.84917 | 602.19173 | 150.54793 | 4.00000   |
| 48.99580 | 736.46014 | 32.71703 | 597.35664 | 149.33916 | 4.00000   |
| 55.99720 | 680.28089 | 32.81597 | 600.97510 | 150.24377 | 4.00000   |
| 62.99860 | 624.87694 | 32.75698 | 598.81665 | 149.70416 | 4.00000   |
| 70.00000 | 569.09957 | 32.78711 | 599.91849 | 149.97962 | 4.00000   |

TABLE 5. Quelques valeurs de l'altitude  $y$ , la vitesse  $v$ , de forces de portance  $F_P$  et des forces de traînée  $F_T$  (en N) et leurs rapports



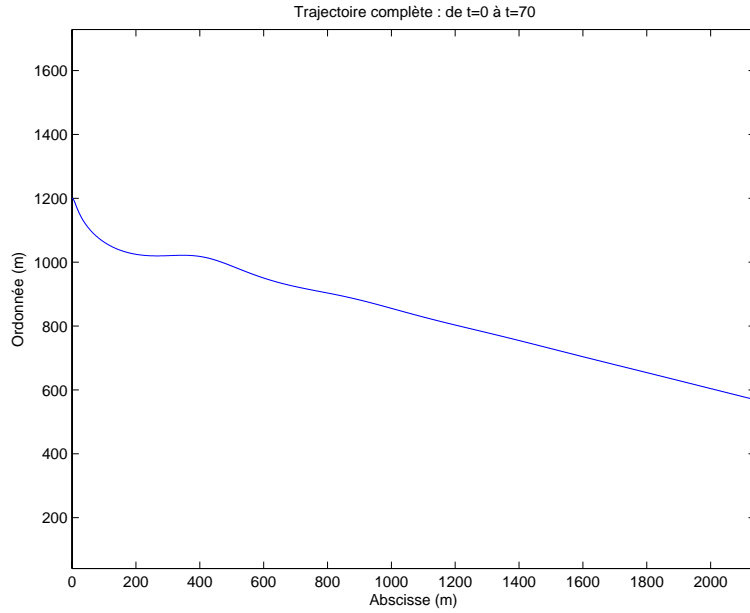


(a) La trajectoire et celle de la chute libre

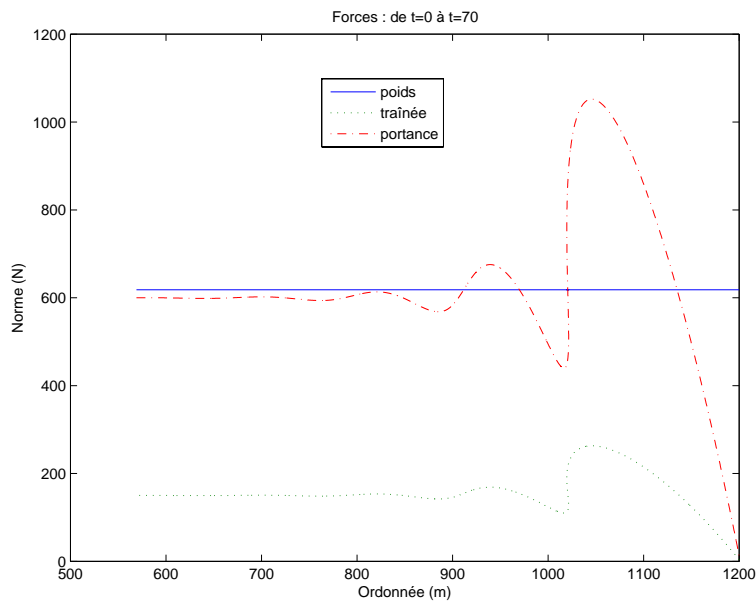


(b) Les normes du poids et des forces de traînée et de portance en fonction du temps

FIGURE 3. Le début du mouvement.



(a) La trajectoire



(b) Les normes du poids et des forces de traînée et de portance en fonction de l'altitude

FIGURE 4. Le mouvement complet.