

Examen CCF1 de Biomécanique du mouvement

Document autorisés : Aucun (calculatrice interdite)

**Exercice 1** (15 points). *Étude d'un kinogramme*

Un mouvement de boxe sans frappe est étudié ; il est filmé dans le plan transverse et représenté sur la figure 1(a). Ce plan est muni d'un repère orthonormé  $(0, \vec{i}, \vec{j})$ . L'axe  $0\vec{k}$  est vertical, perpendiculaire au plan transverse et dirigé vers la haut.

Ce kinogramme, constitué de 20 images, a été obtenu suite à une acquisition vidéo avec un caméscope de type PAL SECAM. Par une procédure numérique non décrite ici, les données ont été lissées (c'est-à-dire purifiées des erreurs de digitalisation) et enrichies : ainsi, le kinogramme de la figure 1(b) est obtenu, correspondant à une fréquence plus importante. Des capteurs ont été placés sur l'épaule, le coude, le poignet et l'extrémité distale de la main repliée.

La masse totale du sujet est de 76 kg et sa taille de 1,86 m.

Les données anthropométriques nécessaires à cet exercice sont communiquées dans les tableaux 1 et 2 page 4.

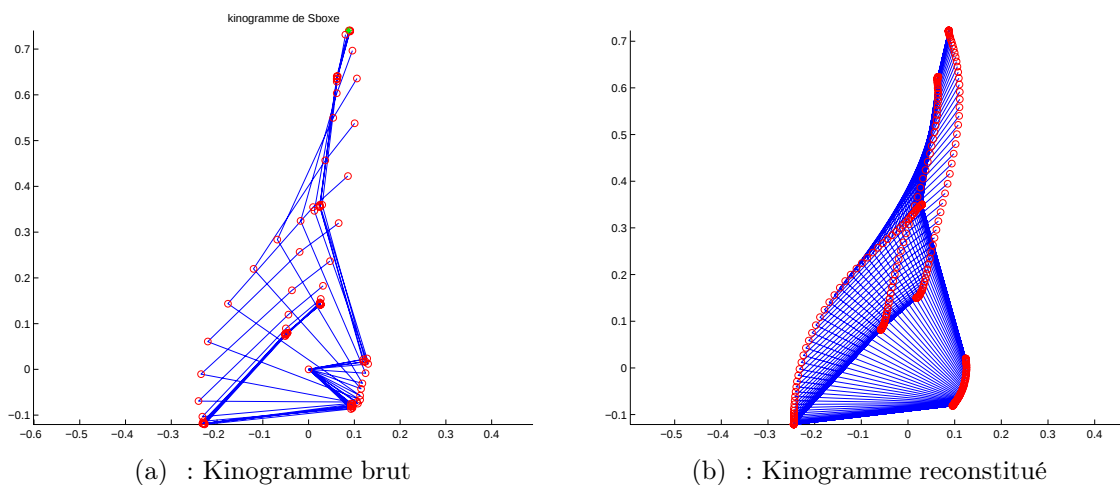


FIG. 1. Kinogramme du mouvement de boxe reconstitué

- (1) (a) Décrire le traitement qui a permis l'obtention du kinogramme brut (figure 1(a)).
- (b) Quelle est la durée du mouvement ?
- (c) Le kinogramme reconstitué (figure 1(b)) est composé de 96 images. Démontrer que la fréquence de ce kinogramme est de 125 Hz.
- (2) Si le mouvement est supposé se dérouler dans le plan transverse  $(0, \vec{i}, \vec{j})$ , la composante verticale, selon  $0\vec{k}$ , de l'accélération du membre supérieur est donc nulle. Déterminer alors la valeur de la composante verticale de la réaction du membre supérieur à l'épaule.
- (3) Déterminer les longueurs du bras et de l'avant-bras.
- (4) Considérons maintenant le membre supérieur à la première image pour laquelle l'accélération du centre de gravité est supposée nulle. Caractériser les forces exercées sur le membre supérieur.
- (5) Démontrer comment ont été calculées les valeurs figurant en gras dans les tableaux 4 et 5 page 5.
- (6)

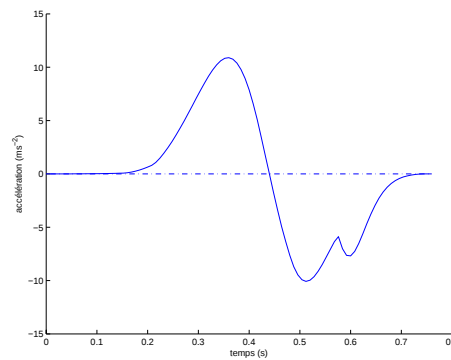


FIG. 2. Accélération du main en fonction du temps.

- (a) La figure 2 présente l'accélération du main en fonction du temps. Montrer graphiquement que la vitesse que la vitesse maximale de la main est atteinte à  $t = 0.4960$ . Montrer que le numéro de l'image correspondante est 62.
- (b) Caractériser l'accélération du centre de gravité de la main entre les images 61 et 63, soit à l'image 62.
- (7) Déterminer les différents états d'équilibre du boxeur lors de ce mouvement. Comment le boxeur peut-il revenir à un état d'équilibre stable ?
- (8) Pour cette dernière question, le boxeur atteint sa cible à l'image 62.
  - (a) Pendant le choc, le boxeur exerce sur la cible une force dont les composantes sont  $(166, 249)$ , dans le repère  $(0, \vec{i}, \vec{j})$ . Les composantes de l'accélération du centre de gravité du membre supérieur sont  $(-3.800, -7.809)$ .  
Caractériser les forces exercées sur le membre supérieur à cet instant.
  - (b) Les composantes de l'accélération du centre de gravité du bras sont  $(-9.641, -13.936)$ .  
En déduire les forces exercées sur le bras à cet instant.

**Exercice 2** (5 points). *Étude des données cinématiques de la course pour différentes distances du 100 m au 10 000 m.*

- (1) Expliquer comment ont été obtenues les données des cases en gras du tableau 6 page 5, sans utiliser les données des autres cases en gras. Justifier les calculs.

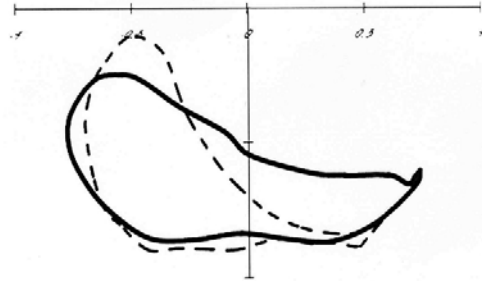


FIG. 3. — : course de 100 m; - - - : course de 10 000 m

- (2) Expliquer mathématiquement comment ont été obtenues ces poulaines (figure 3).
- (3) Après avoir définie la notion d'impulsion, expliquer comment s'organise le spécialiste de 10 000 m par rapport au spécialiste de 100 m en supposant que l'impulsion reste identique au cours des appuis pédestres de ces deux spécialités.

## Ensemble des tableaux

|            | proximal | distal |
|------------|----------|--------|
| bras       | 0.436    | 0.564  |
| avant-bras | 0.430    | 0.570  |
| main       | 0.506    | 0.494  |

TAB. 1. Centres de masse des segments

|            |        |
|------------|--------|
| bras       | 0.5600 |
| avant-bras | 0.3200 |
| main       | 0.1200 |

TAB. 2. rapport des masses de chaque segment sur la masse du membre supérieur

|          | X épaule | Y épaule | X coude | Y coude | X poignet | Y poignet | X doigts | Y doigts |
|----------|----------|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------|----------|
| Image 1  | 0.0955   | -0.0811  | -0.2450 | -0.1212 | -0.0585   | 0.0818    | 0.0179   | 0.1496   |
| Image 2  | 0.0955   | -0.0811  | -0.2450 | -0.1212 | -0.0585   | 0.0818    | 0.0179   | 0.1496   |
| Image 3  | 0.0955   | -0.0811  | -0.2450 | -0.1212 | -0.0585   | 0.0818    | 0.0179   | 0.1496   |
| Image 60 | 0.1165   | -0.0461  | -0.1226 | 0.1996  | 0.0376    | 0.4239    | 0.1051   | 0.5005   |
| Image 61 | 0.1176   | -0.0433  | -0.1106 | 0.2126  | 0.0425    | 0.4418    | 0.1076   | 0.5205   |
| Image 62 | 0.1187   | -0.0403  | -0.0986 | 0.2249  | 0.0469    | 0.4590    | 0.1094   | 0.5398   |
| Image 63 | 0.1197   | -0.0373  | -0.0868 | 0.2364  | 0.0507    | 0.4753    | 0.1105   | 0.5581   |
| Image 64 | 0.1206   | -0.0341  | -0.0754 | 0.2472  | 0.0540    | 0.4907    | 0.1109   | 0.5755   |
| Image 95 | 0.1237   | 0.0201   | 0.0304  | 0.3500  | 0.0648    | 0.6235    | 0.0879   | 0.7230   |
| Image 96 | 0.1237   | 0.0201   | 0.0304  | 0.3500  | 0.0648    | 0.6235    | 0.0879   | 0.7230   |

TAB. 3. coordonnées des points pour quelques images

|          | Bras X         | bras Y         | Avant bras X | Avant bras Y | main X        | main Y        |
|----------|----------------|----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Image 1  | <b>-0.0529</b> | <b>-0.0986</b> | -0.1648      | -0.0339      | -0.0198       | 0.1161        |
| Image 2  | -0.0529        | -0.0986        | -0.1648      | -0.0339      | -0.0198       | 0.1161        |
| Image 3  | -0.0529        | -0.0986        | -0.1648      | -0.0339      | -0.0198       | 0.1161        |
| Image 60 | 0.0123         | 0.0610         | -0.0537      | 0.2960       | 0.0717        | 0.4627        |
| Image 61 | 0.0181         | 0.0683         | -0.0448      | 0.3112       | <b>0.0754</b> | <b>0.4817</b> |
| Image 62 | 0.0239         | 0.0753         | -0.0361      | 0.3255       | 0.0785        | 0.4999        |
| Image 63 | 0.0296         | 0.0821         | -0.0277      | 0.3391       | 0.0810        | 0.5172        |
| Image 64 | 0.0352         | 0.0886         | -0.0197      | 0.3519       | 0.0828        | 0.5336        |
| Image 95 | 0.0830         | 0.1639         | 0.0452       | 0.4676       | 0.0765        | 0.6738        |
| Image 96 | 0.0830         | 0.1639         | 0.0452       | 0.4676       | 0.0765        | 0.6738        |

TAB. 4. Coordonnées des centre de gravité des segments

|          | Bras X        | bras Y        |
|----------|---------------|---------------|
| Image 1  | -0.0848       | -0.0521       |
| Image 2  | -0.0848       | -0.0521       |
| Image 3  | -0.0848       | -0.0521       |
| Image 60 | -0.0017       | 0.1844        |
| Image 61 | <b>0.0049</b> | <b>0.1956</b> |
| Image 62 | 0.0113        | 0.2063        |
| Image 63 | 0.0174        | 0.2165        |
| Image 64 | 0.0233        | 0.2262        |
| Image 95 | 0.0701        | 0.3223        |
| Image 96 | 0.0701        | 0.3223        |

TAB. 5. quelques coordonnées du centre de gravité du membre supérieur au cours du temps

| Distance (m) | Temps                | Vitesse (km/h) | Amplitude (m) | Fréquence (Hz) | Nombre de foulées |
|--------------|----------------------|----------------|---------------|----------------|-------------------|
| 100          | 9,9 s                | <b>36.36</b>   | <b>2.25</b>   | <b>4.5</b>     | 44.4              |
| 400          | 43,8 s               | 32.868         | 2.2           | 4.15           | 181.8             |
| 800          | 1 min 43,4 s         | 27.828         | 2.1           | 3.68           | <b>380.5</b>      |
| 1 500        | <b>3 min 32,16 s</b> | 25.452         | 2             | 3.53           | 750               |
| <b>5 000</b> | 13 min 12,9 s        | 22.716         | 1.8           | 3.5            | 2777.7            |
| 10 000       | 27 min 30,5 s        | 21.816         | 1.75          | 3.46           | 5714.2            |

TAB. 6. Comparaison des courses pour différentes distances du 100 m au 10 000 m.