

Examen CCF1 de Biomécanique du mouvement

Document autorisés : aucun

**Exercice 1.**

*Étude d'un squat jump*

On étudie un sujet qui réalise un squat jump (saut vertical, supposé avoir lieu dans le plan sagittal). Les déplacements et la réaction d'appui (action du sol sur le sujet) sont mesurés. Des capteurs sont placés sur les articulations suivantes

- (1) métatarse
- (2) cheville
- (3) genou
- (4) hanche
- (5) épaule

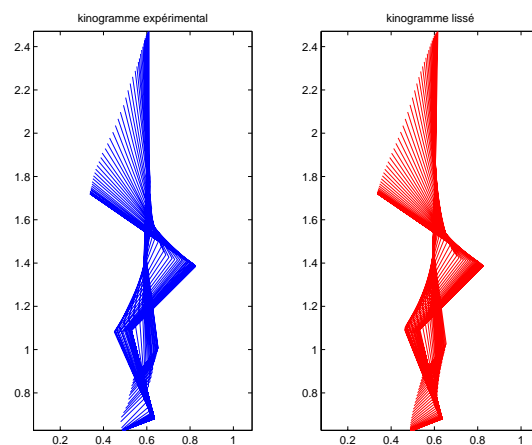


FIGURE 1. Les kinogrammes expérimentaux et «lissés».

Les données expérimentales mesurées (déplacements et forces) ont subi un traitement mathématique non décrit ici afin de les «nettoyer», c'est-à-dire enlever le plus possible, les «irrégularités et erreurs» de mesure. Voir figure 1.

La fréquence d'acquisition est donnée par

$$f_e = 1000 \text{ Hz.} \quad (1)$$

Pour la totalité de l'énoncé, l'étude porte sur l'impulsion, qui débute quand le sujet se met en mouvement et s'achève quand le sujet décolle.

(1) *Analyse qualitative*

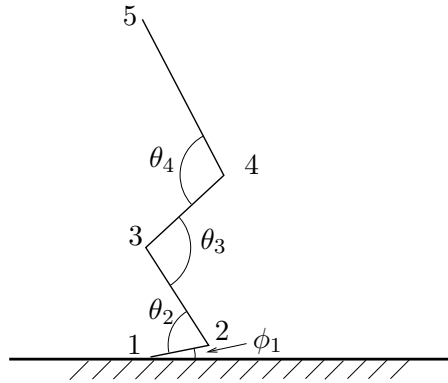


FIGURE 2. Les angles segmentaire  $\phi_1$  et les angles articulaires  $\theta_2$  à  $\theta_4$ .

Sur la figure 2 sont représentés

- $\phi_1$  l'angle segmentaire du pied (entre l'horizontale et le pied) ;
- $\theta_2$ , l'angle articulaire au niveau de la cheville (angle pied-jambe) ;
- $\theta_3$ , l'angle articulaire au niveau du genou (angle jambe-cuisse) ;
- $\theta_4$ , l'angle articulaire au niveau de la hanche (angle cuisse-tronc).

Tous ces angles, exprimés en degrés, sont compris entre 0 et 180.

En quelques lignes, décrire la figure 3 page suivante.

En déduire les coordinations interarticulaires mise en jeu.

(2) *Analyse statique*

On étudie, dans toute cette question 2, le sujet à la première image (au tout début de l'impulsion) quand le sujet est immobile.

- (a) On donne la valeur de  $g$  et la masse  $m$  du sujet

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

$$m = 70.5941 \text{ kg.} \quad (3)$$

Caractériser les forces externes appliquées au sujet.

- (b) *Tous les tableaux sont donnés à la fin de l'énoncé, à partir de la page 6.*

Comparer les valeurs de l'abscisse et de l'ordonnée de la réaction d'appuis que vous avez obtenues à celles données dans le tableau 2.

*Pour toute la suite, vous admettez que de légères différences puissent exister entre les résultats expérimentaux et les résultats théoriques, qui sont dues aux erreurs de mesures et au traitement numérique administré aux données !*

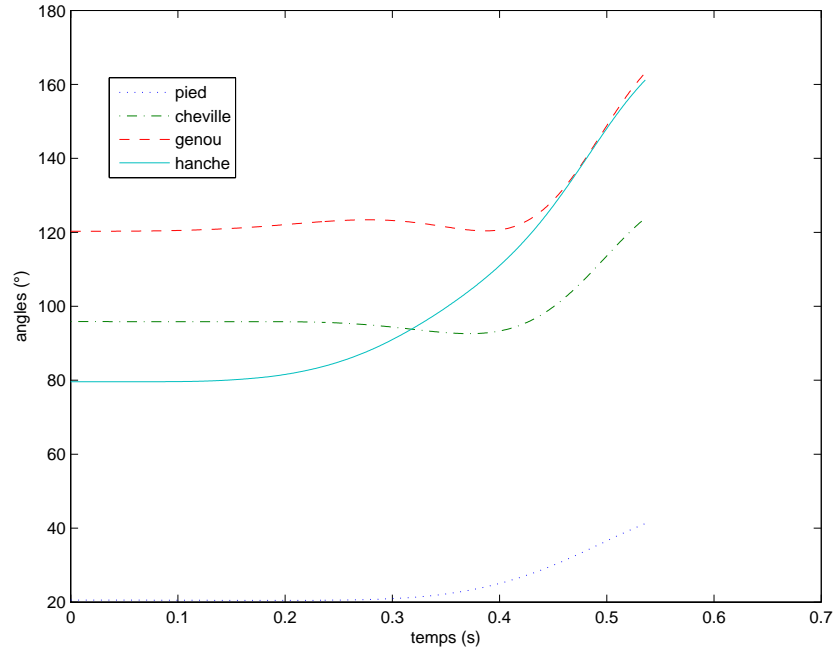


FIGURE 3. Les angles au cours du temps.

- (c) En assimilant *chaque* pied à un rectangle de longueur 27 cm et de largeur 7 cm, déterminer la pression exercée par les *deux* pieds sur le sol.
- (d) En terme de stabilité, où doit se situer le centre de masse du corps par rapport au pied ?
- (e) *Étude du soléaire*

(i) *Question facultative*

Quel est le rôle du soléaire par rapport à la cheville ? Dans quel état de contraction se trouve-t-il ?

- (ii) *Dans le tableau des masse 3, les rapports de masses correspondant à des segments présents deux fois ont été doublés.*

*Pour tous les tableaux, le tronc désigne l'ensemble tronc+tête+membres supérieurs, supposé indéformable. On précise que l'extrémité proximale de ce segment est la hanche.*

- (A) À partir des tableaux 3, 4 et 5, montrer que la longueur  $l_1$  du pied et la masse  $m_1$  des deux pieds sont données par

$$l_1 = 0.15234 \text{ m}, \quad (4)$$

$$m_1 = 2.0472 \text{ kg}. \quad (5)$$

- (B) Caractériser alors chacune des forces extérieures agissant sur les *deux* pieds.

(iii)

Sur la figure 4 page suivante sont représentées les forces appliquées sur les deux pieds qui sont

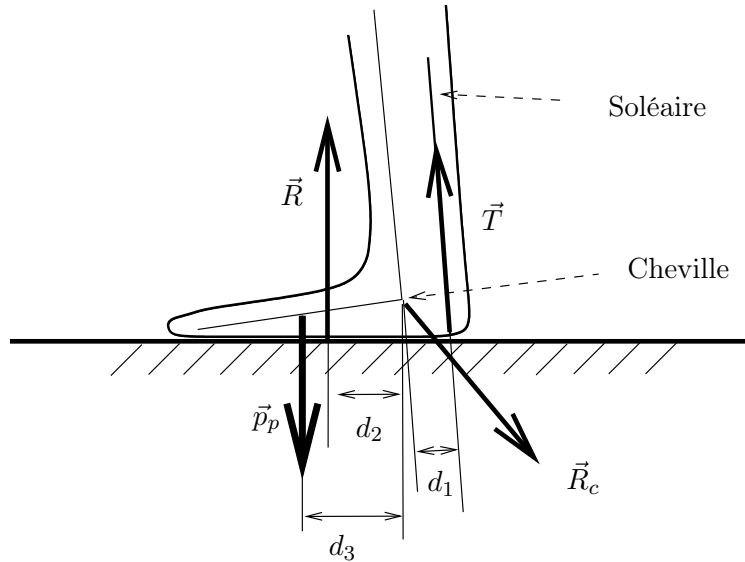


FIGURE 4. Le pied et les différentes forces appliquées, avec leur bras de levier.

- $\vec{R}_c$  l'action des deux tibias et des deux péronés sur les deux pieds, supposée être appliquée à la cheville ;
- $\vec{T}$  la tension des deux soléaires ;
- $\vec{R}$  la réaction du sol ,
- $\vec{p}_p$ , le poids des deux pieds.

Calculer la tension de l'ensemble des deux soléaires. On donne les bras de levier suivants :

$$d_1 = 0.0718 \text{ m,}$$

$$d_2 = 0.0445 \text{ m,}$$

$$d_3 = 0.0720 \text{ m.}$$

### (3) Analyse en dynamique

On étudie, dans toute cette question 3, le sujet à l'image numéro  $i = 441$ , en mouvement.

- Expliquer comment ont été obtenues les coordonnées du centre de masse du pied à l'image  $i = 441$  dans les tableaux 7 et 8.
- Expliquer comment ont été obtenues les coordonnées du centre de masse de tout le corps à l'image  $i = 441$  dans le tableau 9
- Expliquer comment ont été obtenues l'abscisse et l'ordonnée de la vitesse du centre de masse du pied entre les images  $i - 1 = 440$  et  $i = 441$  dans les tableaux 10 et 11.
  - Expliquer comment ont été obtenues l'abscisse et l'ordonnée de l'accélération du centre de masse du pied à l'image  $i = 441$  dans les tableaux 12 et 13.
  - Calculer l'ensemble des forces extérieures agissant sur les deux pieds.

Contrairement à la question 2(e)iii, on considérera l'action des tibias, des péronés et des soléaires sur l'ensemble des deux pieds comme une seule même force, notée  $\vec{R}_{jp}$ .

- (d) Succinctement, comment feriez-vous pour déterminer :
- (i) les forces externes agissant sur le corps à l'instant  $i = 441$  ;
  - (ii) les forces externes agissant sur la jambe à l'instant  $i = 441$ .

### Exercice 2.

Conditions expérimentales	MB	Ci	TF
Temps (s)	<b>344.9</b>	307.6	329.6
Vitesse (m/s)	1.16	<b>1.30</b>	1.21
Amplitude par cycle de bras (m)	1.14	<b>1.24</b>	1.18
Fréquence gestuelle (Hz)	1.01	<b>1.04</b>	1.02
Nombre de cycles	348.3	319.9	<b>336.2</b>

TABLE 1. Performances et variables cinématiques sur 400 m en maillot de bain (MB), combinaison intégrale (Ci) et combinaison trifonction (TF)

- (1) Indiquer les calculs qui ont permis d'obtenir les données des cases en caractères gras du tableau 1. Justifier les calculs. Les cases en gras ne peuvent pas servir pour les calculs.
- (2) Faire la représentation graphique de la vitesse, de l'amplitude et de la fréquence en fonction de la condition expérimentale (tenue).
- (3) Commenter cette représentation graphique
- (4) La figure 5 page suivante représente les trajectoires moyennes du poignet chez les nageurs (●) et les nageuses (◁).
  - (a) Commenter ces courbes.
  - (b) En vue de tracer une poulaine, quel repère interne serait choisi? Expliquer mathématiquement comment cette poulaine serait obtenue.

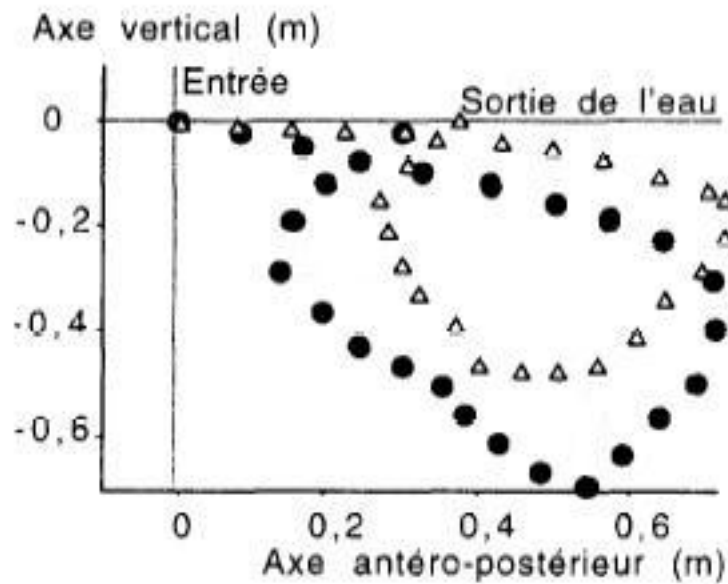


FIGURE 5. Trajectoire moyenne du poignet chez les nageurs (●) et les nageuses (◁)

### Corrigé

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

### Ensemble des tableaux

instants	$R_x$	$R_y$
1	-9.394	698.306
439	263.387	1783.931
440	264.471	1783.931
441	265.194	1786.758
442	266.278	1786.758
443	267.000	1786.758

TABLE 2. Quelques réactions d'appuis mesurées

pied	0.029
jambe	0.093
cuisse	0.200
tronc	0.678

TABLE 3. Rapports (éventuellement doublés) entre de la masse de chaque segment par la masse totale

instants	métatarse	cheville	genou	hanche	épaule
1	0.49088	0.63497	0.52798	0.82496	0.34114
439	0.48823	0.62048	0.46480	0.69168	0.44362
440	0.48819	0.62033	0.46509	0.69084	0.44449
441	0.48816	0.62019	0.46540	0.69000	0.44536
442	0.48812	0.62004	0.46573	0.68916	0.44624
443	0.48809	0.61990	0.46607	0.68833	0.44711

TABLE 4. Quelques abscisses de capteurs

instants	métatarse	cheville	genou	hanche	épaule
1	0.62700	0.68104	1.08909	1.38590	1.72000
439	0.62689	0.69897	1.10283	1.44649	2.00686
440	0.62709	0.69944	1.10351	1.44766	2.00915
441	0.62730	0.69992	1.10420	1.44885	2.01145
442	0.62751	0.70041	1.10491	1.45007	2.01376
443	0.62773	0.70090	1.10562	1.45131	2.01609

TABLE 5. Quelques ordonnées de capteurs

	proximal	distal
pied	0.500	0.500
jambe	0.433	0.567
cuisse	0.433	0.567
tronc	0.572	0.428

TABLE 6. Coefficients proximaux et distaux des centres de masse des segments

instants	pied	jambe	cuisse	tronc
1	0.56292	0.57431	0.69637	0.54803
439	0.55435	0.53221	0.59344	0.54969
440	0.55426	0.53231	0.59309	0.54983
441	0.55417	0.53242	0.59275	0.54997
442	0.55408	0.53255	0.59241	0.55012
443	0.55399	0.53268	0.59209	0.55026

TABLE 7. Quelques abscisses de centres de masse des segments

instants	pied	jambe	cuisse	tronc
1	0.65402	0.91240	1.25738	1.57714
439	0.66293	0.92796	1.29768	1.76724
440	0.66327	0.92855	1.29864	1.76905
441	0.66361	0.92915	1.29962	1.77087
442	0.66396	0.92976	1.30062	1.77272
443	0.66431	0.93038	1.30163	1.77458

TABLE 8. Quelques ordonnées de centres de masse des segments

instants	abscisses	ordonnées
1	0.58057	1.42460
439	0.55695	1.56325
440	0.55698	1.56473
441	0.55702	1.56623
442	0.55706	1.56775
443	0.55710	1.56928

TABLE 9. Quelques coordonnées de centre de masse du corps

	pied	jambe	cuisse	tronc
entre les images 439 et 440	-0.09074	0.10055	-0.35212	0.13963
entre les images 440 et 441	-0.09011	0.11200	-0.34250	0.14106
entre les images 441 et 442	-0.08946	0.12350	-0.33281	0.14250
entre les images 442 et 443	-0.08877	0.13504	-0.32304	0.14394

TABLE 10. Quelques abscisses de vitesse de centres de masse des segments

	pied	jambe	cuisse	tronc
entre les images 439 et 440	0.33582	0.59047	0.95865	1.81094
entre les images 440 et 441	0.34248	0.60019	0.97697	1.82789
entre les images 441 et 442	0.34922	0.60996	0.99532	1.84472
entre les images 442 et 443	0.35602	0.61977	1.01370	1.86141

TABLE 11. Quelques ordonnées de vitesse de centres de masse des segments

	pied	jambe	cuisse	tronc
à l'image 440	0.62980	11.45146	9.62004	1.43351
à l'image 441	0.65779	11.49746	9.69376	1.43626
à l'image 442	0.68577	11.54347	9.76749	1.43901

TABLE 12. Quelques abscisses d'accélération de centres de masse des segments



	pied	jambe	cuisse	tronc
à l'image 440	6.66194	9.71842	18.32451	16.95495
à l'image 441	6.73218	9.76530	18.35168	16.82348
à l'image 442	6.80242	9.81217	18.37886	16.69202

TABLE 13. Quelques ordonnées d'accélération de centres de masse des segments

	abscisse	ordonnée
entre les images 439 et 440	0.03096	1.48420
entre les images 440 et 441	0.03494	1.50045
entre les images 441 et 442	0.03894	1.51663
entre les images 442 et 443	0.04296	1.53274

TABLE 14. Quelques vitesses du centre de masse du corps

	abscisse	ordonnée
à l'image 440	3.97918	16.25737
à l'image 441	4.00088	16.18006
à l'image 442	4.02258	16.10276

TABLE 15. Quelques accélérations du centre de masse du corps