

efforts articulaires entre les deux vitesses de marche, mais toujours seulement suivant l'axe vertical. En effet, dans le cas d'une marche lente, les forces interarticulaires sont plus faibles de 200 à 300 N par rapport à celles d'une marche rapide. Ceci est aussi vrai pour les moments des forces intersegmentaires [Fig.: 3a, 3b], au niveau de la hanche (120 à 200 N.m. pour «AM3», et 70 à 220 N.m. pour «AM5»). On note éga-

lement les très faibles valeurs (quasi nulles) des moments enregistrées au niveau de l'articulation de la cheville.

### Conclusion

Les calculs et la méthodologie de HOF présentent pour nos applications un intérêt évident car ils nous permettent d'évaluer les efforts et les

moments des forces à chacune des articulations. Toutefois, la précision des résultats reste liée à l'exclusivité du segment tronc, car ils pourraient être faussés par sa grande masse et son incertaine rigidité. Cette théorie a donc ses limites car, en l'état actuel de nos travaux, nous ne possédons pas encore une méthodologie de calcul suffisamment puissante pour généraliser les résultats à l'ensemble des articulations du corps.

**P. PUDLO<sup>1</sup>, F. BARBIER<sup>1</sup>, J.C. ANGUÉ<sup>1</sup>, E. WATELAIN<sup>2</sup>**

## Nécessité de modéliser le rameur en 3 dimensions

1. Laboratoire d'Automatique et de Mécanique Industrielles et Humaines, Valenciennes, France  
2. Laboratoire d'Études de la Motricité, Faculté des Sciences du Sport, Lille, Ronchain, France

### Introduction

Les recherches portant sur l'aviron ont bien souvent modélisé le rameur en 2 dimensions. Les mouvements des bras, du tronc et des jambes sont définis alors dans le plan sagittal du rameur. Si d'un point de vue cinématique, cette hypothèse est sujette à caution (dissymétrie, mouvement 3d des bras même en aviron de couple), quant est-il du point de vue de la dynamique articulaire? L'objectif de ce papier est de discuter cette hypothèse sur la base du calcul des couples articulaires chez un rameur de niveau régional.

### Matériel

Le dispositif expérimental se compose d'un ergomètre Concept II Modèle C totalement instrumenté (Pudlo, 1996) et du système d'analyse gestuelle SAGA-3. Ce dispositif permet la mesure des efforts aux points de contact (mains, pieds et fesses) du système rameur-ergomètre et la mesure des coordonnées 3d des différents marqueurs. Des tests de précision ont été réalisés et mettent en évidence une erreur de 0,1% du champ de mesure pour les coordonnées 3D et de 2° sur les angles. En outre, la calibration des caméras est faite de manière à ce que l'axe Y du repère de laboratoire

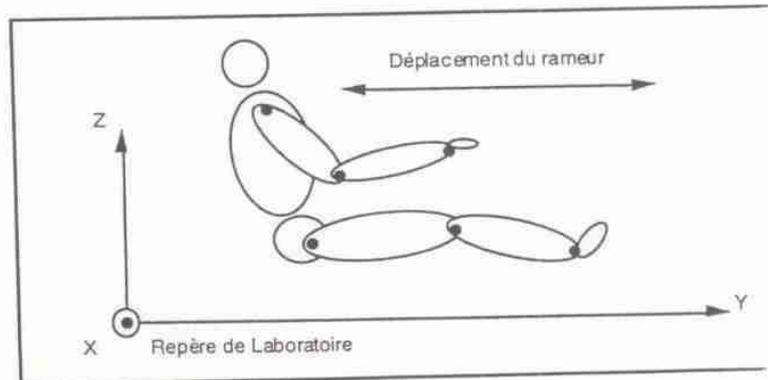


Figure 1 — Le repère de laboratoire.

ait la même direction que le mouvement du rameur. L'erreur de parallélisme est de 0,55°.

### Méthode

Les couples articulaires ont été calculés au niveau des poignets, des coudes, des épaules, des chevilles, des genoux, des hanches et en L4/L5. Les mains, les avant-bras, les bras, les pieds, les jambes, les cuisses, le tronc et le pelvis sont assimilés à des corps rigides reliés entre eux par des articulations de type rotule supposées sans frottement. Les mains, les avant-bras, les bras, les pieds, les jambes et les

cuisses sont assimilés à des tronqués (Hanavan, 1964), le pelvis et le pelvis à des ellipsoïdes de révolution. Les caractéristiques anthropométriques sont déduites de Dempster (1955). Le calcul des couples articulaires est basé sur les principes de Newton-Euler. Le rameur volontaire est âgé de 25 ans, mesure 1,87 m, pèse 85 kg et est familier avec le dispositif expérimental. 6 expérimentations de 10 secondes aux cadences de 14, 18, 22, 26, 30 et 34 ont été réalisées.

### Hypothèse d'étude

Sous l'hypothèse que la modélisation 2d est suffisante, les

santes en Y et Z des couples articulaires devraient être négligeables devant la composante en X.

**Résultats**

Les maximums des valeurs absolues des couples articulaires moyens ont été recherchés pour les 6 cadences de consigne. A chaque articulation et pour les 6 cadences, les quotients *Qyx* et *Qzx*, définis ci-dessous, ont été calculés (tableau 1) :

$$Qyx = \frac{Max. Abs (Cy moyen)}{Max. Abs (Cx moyen)}$$

$$Qzx = \frac{Max. Abs (Cz moyen)}{Max. Abs (Cx moyen)}$$

Le tableau 1 montre que : 1) pour le poignet et l'épaule le couple Cx est prépondérant, les composantes en Y et Z semblent donc négligeables, 2) pour le coude, la composante en Z est la plus importante, elle ne peut être négligée, 3) pour les membres inférieurs, les composantes en Y et Z ne

%	Poignet	Coude	Epaule	Cheville	Genou	Hanche	L4/L5
<b>Qyx</b>	0,037 (± 0,01)	0,215 (± 0,05)	0,143 (± 0,03)	0,917 (± 0,06)	1,252 (± 0,12)	0,639 (± 0,04)	0,106 (± 0,01)
<b>Qzx</b>	0,207 (± 0,08)	1,955 (± 0,21)	0,100 (± 0,01)	0,845 (± 0,13)	1,122 (± 0,16)	0,638 (± 0,11)	0,188 (± 0,05)

Tableau 1 — *Qyx* et *Qzx* (moyenne et écart-type).

peuvent être négligées car elles représentent au minimum 63% de la composante en X et enfin 4) pour le tronc, le couple Cx est prépondérant, les composantes en Y et Z semblent donc négligeables.

**Conclusion**

Le calcul des coefficients *Qyx* et *Qzx* n'a pas simplement confirmé la nécessité de modéliser les membres supérieurs en 3 dimensions, confirmant ainsi l'analyse cinématique, mais a aussi montré la nécessité de modéliser les membres inférieurs en 3 dimensions. ■

**Bibliographie**

DEMPSTER W.T. (1955) Space requirement of the seated operator, Wright Patterson Air Force Base, WASC-TR, pp 55-159.

HANAVAN I.A. (1964) A mathematical model of the human body, A.M.R.L.-TR, Aero Medical Research Laboratories, Wright Patterson, A.F. Base OHIO, pp 64-102.

PUDLO P., BARBIER F., ANGUE J.C., (1996). Instrumentation of the Concept II ergometer for optimization of the gesture, The Engineering of Sport, Editor: Steve Haake. ISBN: 90-5410-822-3. pp 137-140.