

**ELABORATION D'UNE TABLE ANTHROPOMETRIQUE  
DE CARACTERISTIQUES INERTIELLES DE SEGMENTS  
CORPORELS PAR LA METHODE DE JENSEN :  
ETUDE DE FAISABILITE SUR 100 SUJETS BENINOIS**

\*YESSOUFOU L.<sup>1</sup>, LAWANI M. M.<sup>2</sup>, DUMAS G.<sup>3</sup>

Institut National de la Jeunesse, de l'Education Physique et du Sport (INJEPS),  
BP 169 Porto-Novo (Bénin).

1\*- Doctorant en STAPS, Laboratoire de Biomécanique & Performance (LaBioP) INJEPS/ Porto-  
Novo Université d'Abomey-Calavi (Bénin). *E-mail : yessoufoulafiou@yahoo.fr*

2- Maître de Conférences en Biomécanique à l'INJEPS ; Université d'Abomey-Calavi (Bénin).

3- PhD, P. Eng, Department of Mechanical and Materials Engineering,  
Queen's University, Kingston, Ontario, CANADA.

(Reçu le 22 Mars 2013 ; Révisé le 14 Mai 2013 ; Accepté le 22 Mai 2013)

**RESUME**

Cette étude met en œuvre l'utilisation de la méthode de Jensen pour élaborer une table anthropométrique de caractéristiques inertielles de segments corporels. Le matériel nécessaire à l'acquisition des données est réduit à deux appareils photos numériques standards, un pèse-personne, une toise et le logiciel Slicer Project. 100 sujets volontaires (hommes et femmes) âgés de 15 ans à 30 ans, obèses et non obèses ont participé à l'étude. Ils sont de nationalité béninoise, sans handicap apparent et sont répartis en quatre groupes de 25 sujets (hommes, femmes, obèses et non obèses). Les valeurs moyennes des paramètres d'étude obtenues par les méthodes de Jensen, de Winter et de volumétrie sont comparées entre elles par le test statistique de Student pour échantillons appariés. Les valeurs sont considérées significativement identiques au seuil 5%. Quels que soient le sexe et la catégorie d'obésité, les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative relevée entre la masse corporelle mesurée, en comparaison à celle obtenue par slicer de Jensen ; en outre, les différences entre Jensen et Winter d'une part (par rapport aux masses des segments distaux) et puis Jensen et Volumétrie d'autre part (par rapport aux volumes des segments distaux) ne sont pas aussi significatives. La méthode présentée ici permet l'obtention rapide et aisée des caractéristiques géométriques et inertielles individualisées des segments corporels d'un sujet, de manière quasi-automatique.

Mots clés : Modélisation, Mesures anthropométriques; méthode de Jensen.

**ABSTRACT**

This study aims to develop, from Jensen's method a table of values of inertial body segments of 100 subjects. They are all Benin citizens, aged 15 to 30 and with no pathological volunteered who are participated in the study. There were divided into four groups of 25 (men, women, obese and no obese). The equipment required for data acquisition is reduced to two standard digital cameras cheap, scales, a meter and a logical Slicer project. A value average of study parameters obtain with Jensen, winter and volumetric are compared between them with the statistic test student. A value of  $p < 0.05$  was chosen as the significance threshold for all variables under study. With both of the sex and obese or no obese, the results showed that there is no different significant between a direct mass and mass esteemed with Jensen's method. Somewhere, the different between Jensen and winter on the one hand (comparison of mass segments distain); then between Jensen and volumetric on the other (comparison of volume segments distain) are not too significant.

The method presented here allows obtaining quickly and easily individualized geometrical and inertial body segment of a subject, almost automatically.

Key words: Modeling, Anthropometry; method of Jensen.

## INTRODUCTION

La méthode de Jensen est un système d'acquisition bi-caméra qui permet d'obtenir deux photos d'un sujet avec des mires réfléchissantes aux repères anatomiques, et via le logiciel Slicer Project, l'Ordinateur fournit les caractéristiques biomécaniques de l'individu (JENSEN, 1978). Il existe différentes méthodes de mesures en biomécanique :

\* Avant les années 1970, on peut citer :

- l'immersion (HARLESS, 1860),
- le pesage dans différentes postures (PEARSALL et GAVIN 1994),
- l'accélération des segments (HEDOUX, 2004),

\* Après les années 1970 :

- l'analyse de la période d'oscillation (DOWLING, 2006),
- la photogrammétrie (PINTI, 2005),

\* Par la suite,

- La méthode de JENSEN (1978), qui fait objet de cette étude,
- le scanner et l'image par résonance magnétique (IRM), (PINTI et *al.*, 2005).

Ces méthodes présentent quelques limites par rapport à la précision des résultats :

- Le scanner et l'IRM donnent plus de précision, cependant ils coûtent trop chers.
- Le temps d'acquisition des résultats relativement long et les sujets d'étude qui sont des cadavres de vieux caucasiens ; une même population utilisée pour élaborer les tables existantes et qui paraît être un paramètre primordial influençant (RAO et *al.*, 2006).

L'objectif de cette étude est de Modéliser des sujets béninois et de déterminer leurs paramètres inertiels segmentaires (Longueur, masse et centre de masse) par la méthode de Jensen. L'étude a également, comparé les valeurs obtenues par calcul à partir des méthodes usuelles en AMH, à celles obtenues directement par la méthode de Jensen.

## MATERIEL ET METHODE

### Cadre expérimental

De type transversal et comparatif, l'étude a été réalisée à la fois :

\*au Laboratoire de biomécanique de l'Université de Queen's au Canada pendant un stage de formation, et au Laboratoire de Biomécanique et Performance « LaBioP » INJEPS/ UAC (Porto/Novo - Bénin).

### Echantillon d'étude

Cent sujets Béninois, obèses et non obèses des deux sexes, âgés de 15 ans et plus ont pris part à cette étude. Ces sujets ne souffrent d'aucun handicap apparent, sont volontaires et ont donné au préalable leur consentement pour l'étude. Ils sont répartis comme suit :

- 25 sujets masculins obèses,
- 25 sujets masculins non obèses,
- 25 sujets féminins obèses,
- 25 sujets féminins non obèses.

### Critères d'inclusion :

- être de nationalité béninoise,
- être volontaire,
- être âgé de 15 ans et plus,
- être un sujet sain (sans pathologie apparente).

**Critères de non inclusion :** Ne sont pas pris en compte les sujets :

- de nationalité étrangère,
- dont l'âge est inférieur à 15 ans,
- handicapés.

**Critères d'exclusion :** Sont exclus de l'étude les sujets :

- qui ont démissionné pendant les expérimentations.

**Considérations éthiques :** La salle d'expérimentation est bien protégée puis les données collectées sont confidentielles pour garantir la sécurité et la pudeur des sujets qui ont participé à l'étude. Ils ne seront pas identifiés ou nommés dans aucune publication ou aucun rapport et leurs photos ne seront éventuellement publiées que s'ils en donnent la permission et après avoir brouillé leur visage afin d'éviter leur identification.

Elaboration d'une table anthropométrique de caractéristiques inertielles de segments corporels par la méthode de Jensen : étude de faisabilité sur 100 sujets béninois.

**Variables étudiées :** Il s'agit de la masse corporelle, de centre de masse, l'indice de masse corporelle, la longueur des segments, l'âge et la taille du sujet.

- un (1) mètre ruban,
- treize (13) marqueurs réfléchissants.

**Positionnement du sujet**

**Matériels utilisés :**

- deux (2) appareils photographiques numériques posés sur leurs pieds (digital camera),
- deux (2) petits niveaux circulaires placés sur les appareils photos, pour s'assurer qu'ils sont vraiment parallèles au sol,
- un (1) autre niveau pour s'assurer de la verticalité de l'appareil,
- quatre (4) mètres rigides (bois ou plastique) dont deux suspendus à la verticale et deux horizontaux au sol servent de calibration lors de la prise des photographies,

Le sujet se tient debout sur l'escarbot prévu à cet effet. On prend soin de vérifier que le centre de l'escarbot (correspondant à la verticale du point d'intersection des axes optiques des caméras) soit à mi-distance des malléoles. Les jambes sont légèrement écartées de manière à ce que les cuisses ne se touchent pas (lorsque cela est possible). Les pieds sont parallèles et pointés vers l'objectif de l'appareil prenant la vue de face (Figure 2).

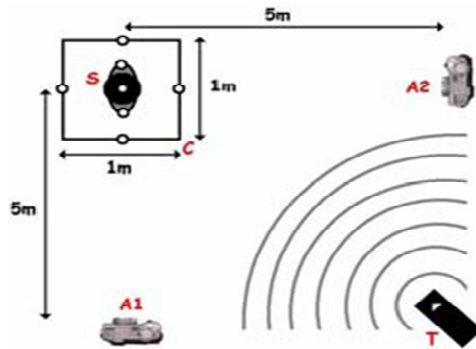


Figure 1 : Protocole de prise de photos (vue de dessus de la salle d'expérimentation).

**Légende :** S = sujet ; C = espace carré ; A1 & A2 =cameras ; T = télécommande

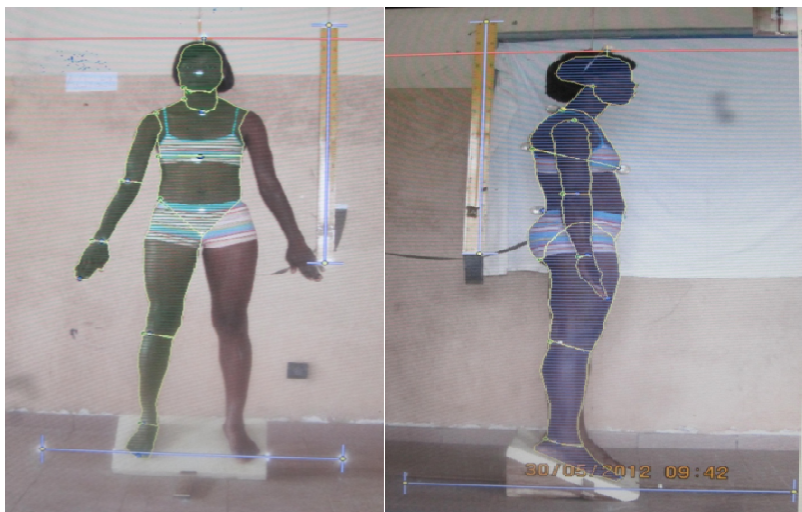


Figure 2 : Numérisation des photos (de face et de profil)

**RESULTATS**

cativement identiques au seuil  $p < 0,05$ .

**Analyse des résultats**

Les valeurs moyennes des paramètres d'étude obtenues par les méthodes de Jensen, de Winter et de volumétrie sont comparées entre elles par le test statistique de Student pour échantillons appariés. Les valeurs sont considérées signifi-

Les tableaux I et II présentent les caractéristiques anthropométriques des sujets. Ces tableaux ont pris en compte l'âge des sujets, leur taille, leur masse corporelle ainsi que leur indice de masse corporelle et présentent leur valeurs moyennes.

Tableau I : caractéristiques anthropométriques des sujets féminins

Sujets		Moyennes			
Féminin	Effectif	Age (années)	Taille (m)	MC (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )
Non obèses	25	19,13±4,05	1,62±0,03	57,10±8,04	21,77±2,21
Obèses	25	23,04±7,02	1,61±0,05	76,20 ± 12,50	29,39±4,30

Tableau II : caractéristiques anthropométriques des sujets masculins.

Sujets		Moyennes			
Masculin	Effectif	Age (années)	Taille (m)	MC (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )
Non obèses	25	22,13±4,02	1,72±0,03	66,4±5,30	22,47±2,04
Obèses	25	21,07±5,01	1,73±0,04	79,60±7,13	26,60±3,33

Les figures 1, 2 et 3 montrent respectivement le protocole de prise de vue, le positionnement du sujet pendant la prise de photo ainsi que la

numérisation de cette dernière puis enfin la modélisation du sujet.

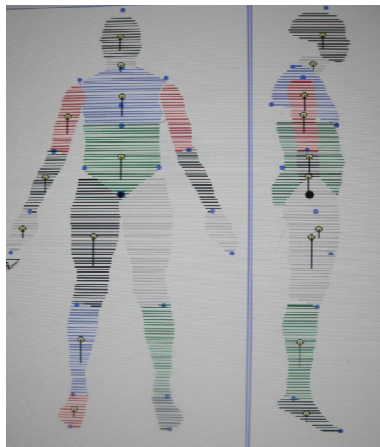


Figure 3 : Modélisation d'un sujet (de face et de profil)

**LEGENDE :**

- \* Les points **bleus** délimitent par couleur les segments modélisés
- \* Les points **jaunes** représentent les centres de masse de chaque segment
- \* Le point **noir** au niveau du bassin représente le centre de gravité ou le centre de masse du corps.

**Comparaison des masses corporelles mesurées et celles estimées par la méthode de Jensen.**

La comparaison simultanée des valeurs moyennes des masses observées chez les quatre groupes n'a pas montré de différence significative ( $p < 0,05$ ). La figure 4 présente les

masses corporelles mesurées chez les sujets obèses et non obèses puis celles estimées par la méthode de Jensen. Ce résultat montre au niveau des quatre groupes que les masses corporelles mesurées, ou obtenues par slicer de Jensen sont semblables; quels que soient le sexe et la catégorie d'obésité.

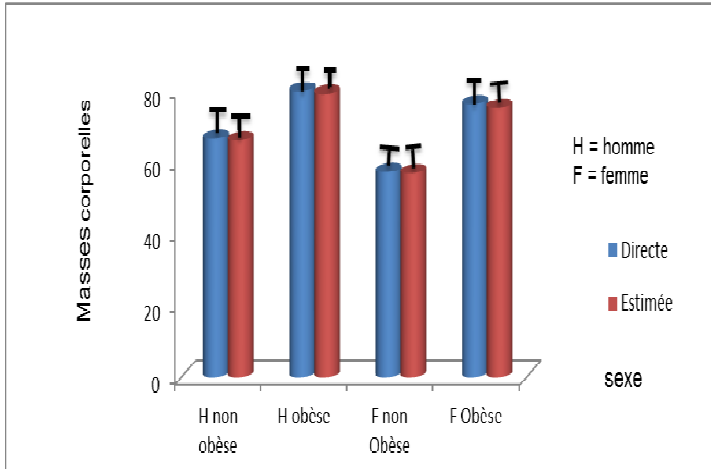


Figure 4 : Comparaison des masses corporelles mesurées et celles estimées par la méthode de Jensen chez les hommes non obèses, les hommes obèses, les femmes non obèses et les femmes obèses.

**- Comparaison des masses des segments distaux des sujets par la méthode de Jensen et les calculs à partir de la table de Winter.**

Les valeurs moyennes des masses des segments distaux obtenues par la méthode de Jensen sont

similaires à celles obtenues par Winter (Figure 5). Les résultats ont révélé que les différences entre Jensen et Winter ne sont pas significatives ( $p < 0,05$ ). De ce point de vue, on peut utiliser la méthode de Jensen ou celle de Winter pour obtenir le résultat escompté.

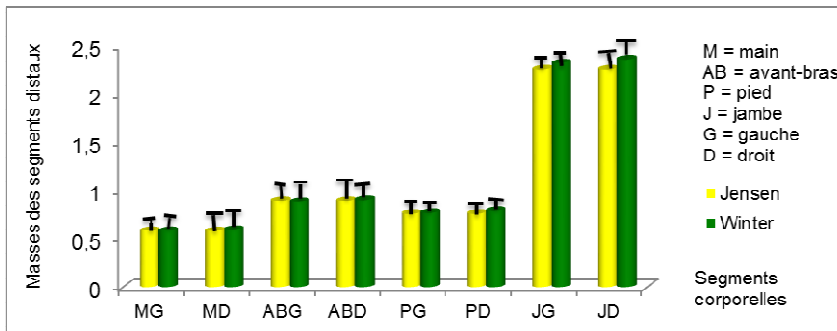


Figure 5 : Comparaison des masses des segments distaux obtenues chez les sujets par la méthode de Jensen et celle de Winter.

**- Comparaison des volumes des segments distaux des sujets, obtenus par les méthodes de Jensen et de volumétrie.**

Les valeurs moyennes des masses des segments distaux obtenues par la méthode de Jensen sont identiques à celles obtenues par la volumétrie

(Figure 6). Les résultats ont révélé que les différences entre Jensen et la volumétrie ne sont pas significatives ( $p < 0,05$ ). Ce qui permet de dire que la méthode de Jensen ou celle de volumétrie peut donner le résultat escompté dans ces conditions.

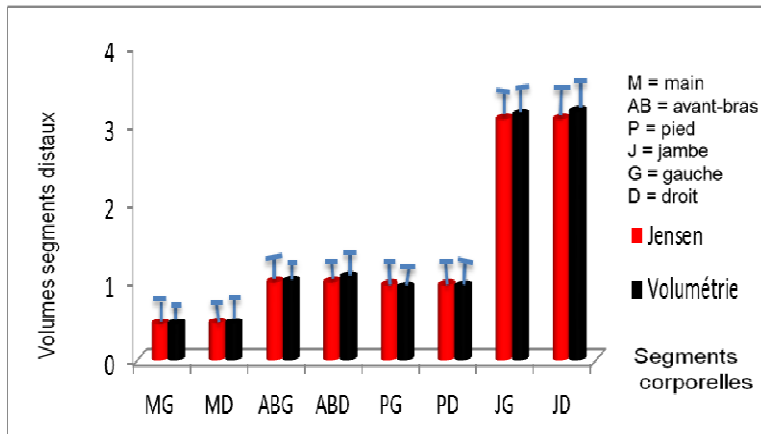


Figure 6 : comparaison des volumes des segments distaux obtenus chez les sujets, par la méthode de Jensen et la méthode de volumétrie.

**DISCUSSION**

Le positionnement des appareils photographiques numériques se fait de façon rigoureuse, en veillant à la perpendicularité et à des distances normalisées (Figure 1). Cependant, il est difficile de s'assurer de la direction des optiques des appareils qui créent parfois des déformations ; ainsi donc il est nécessaire d'effectuer un calibrage du sujet en position de prise de vue (Figure 2).

Le besoin de PIS précis est indéniable en analyse du mouvement humain. Les très grandes variations des valeurs de ces paramètres pour un même individu en fonction du modèle d'estimation utilisé rendent nécessaire l'utilisation de méthodes de détermination des PIS individuelles ou bien, lorsque cela n'est pas possible, de modèles adaptés, i.e. ayant été validés sur la population à étudier selon Leboucher (PINTI, 2005).

La vérification de nos résultats nous a permis

de prendre en compte, non seulement les méthodes de Jensen mais aussi celle de Winter et de volumétrie. Ces méthodes ont été choisies pour des raisons de disponibilité du matériel dans les laboratoires d'analyse du mouvement et d'absence de danger quant à la santé des sujets.

Afin de créer un modèle, il est nécessaire de caractériser le sujet de façon adéquate et performante. On découpe ainsi le corps humain en segments corporels, volumes « rigides » n'ayant aucune articulation fonctionnelle (HEDOUX, 2004). Ainsi un modèle anthropométrique consiste en la délimitation et la description de chacun des segments corporels de l'individu (Figure 3). La description d'un segment comprend ses dimensions (longueur, volume) ainsi que ses répartitions de masses (densité, masse, position du centre de masse).

La méthode de Jensen modélise le sujet par un empilement de cylindres ellipsoïdaux d'une épaisseur constante fixe. Pour ce faire, le

logiciel slicer va demander à l'utilisateur successivement pour les deux images, de pointer les différents marqueurs ainsi que de dessiner les contours des différents segments corporels (Figures 2 et 3).

La modélisation biomécanique d'un individu consiste en la délimitation des différents «segments corporels» considérés rigides et la détermination de leurs caractéristiques propres (dimensions, masses, inerties), mais aussi de leurs interactions (positions relatives, liaisons) ; selon PEARSALL *et al.* (1994). Les modèles sont nombreux et souvent inadaptés (LEBOUCHER *et al.*, 2006). Il est alors important d'utiliser les paramètres inertiels segmentaires (PIS), les plus proches de la réalité possible.

Les résultats de cette étude montrent qu'il n'y a pas de distorsions significatives entre les diverses méthodes (Jensen, Winter, Volumétrie) utilisées à cet effet. Pour ce faire, nous pouvons utiliser la méthode de Jensen pour nous affranchir des difficultés que constitue une étude à partir de cadavres, compte tenu des pesanteurs socioculturelles de notre contexte racial. Alors, la méthode de Jensen peut- être utilisée dans le domaine des textiles pour la confection des uniformes.

En outre, certaines études critiquent des mesures de PIS effectuées sur des cadavres, avançant l'argument que ceux-ci peuvent ne pas représenter fidèlement une population vivante. En effet, des différences ont été observées entre populations vivantes et cadavériques, en ce qui concerne la masse totale, pour des tailles moyennes similaires (CLAUSER *et al.*, 1969).

## CONCLUSION

Au terme de cette étude qui a pris en compte 100 sujets béninois nous pouvons retenir que la Méthode de Jensen est un nouvel outil très simple à mettre en œuvre sur un être vivant.

L'application de Jensen dans le contexte béninois donne les mêmes résultats que les autres méthodes usuelles (Winter, volumétrie). Les valeurs moyennes obtenues comparées entre Jensen et Winter d'une part puis entre Jensen et volumétrie d'autre part sont similaires. Cet outil précis et moins onéreux peut-être d'un grand apport dans la connaissance anthropométrique des sujets africains en particulier. Il peut être également préconisé pour la modélisation biomécanique.

En outre, La méthode de Jensen permet l'obtention de plusieurs paramètres à la fois et peut-être utilisée dans de nombreux domaines comme :

- L'étude des mouvements sportifs (analyse & amélioration de la perf)
- Les métiers de l'ingénierie sportive (confection de matériels sportifs)
- Les activités physiques adaptées (réhabilitation de déficiences organiques)
- La médecine (prévention du mal de dos)
- Le biomédical et la rééducation (prothèses)
- Les métiers de la recherche (développement de nouveaux modèles et de nouvelles techniques).

## REMERCIEMENTS

A tous ceux qui de près ou de loin ont soutenu ce travail, particulièrement, les hommes et les femmes qui ont participé à cette étude. Merci pour votre disponibilité.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. CHENG-KUNG Cheng, HSIANG-HO Chen, CHEN-SHENG Chen, CHEN-LUNG Lee, CHIH-YONG Chen, 2000. Segment inertial properties of Chinese adults determined from magnetic resonance imaging. *Clinical Biomechanics*, 15: 559-66.
2. CLAUSER C. E, McCONVILLE JV, YOUNG JW., 1969. Weight, volume and center of mass of segments of the human body. AMRL Technical Report. *Wright-Patterson Air Force Base, OH*, pp. 69-70.
3. DOWLING James J., JENNIFER L., DURKIN David M. Andrews. 2006. The uncertainty of the pendulum method for the determination of the moment of inertia. *Medical Engineering and Physics*, 28 (8): 837-41.
4. HARLESS E., 1860. Die statischen Momente der menschlichen Gliedmassen. *Abhandl Mathematische-Physikalischen Classe Königl Bayerischen Akad Wissenschaft*, (8): 69-96 ; 257-94.
5. HÉDOUX Patrick, 2004. Détermination de paramètres biomécaniques personnalisés à partir d'imagerie médicale : application aux sujets hémiplégiques. *Doctorat d'Univ. Automatique et Informatique des Systèmes Industriels et Humains : Valenciennes*. 162 p.
6. JENSEN Robert K., 1978. Estimation of the biomechanical properties of three body types using a photogrammetric method. *Journal of Biomechanics*, 11: 349-58.
7. Leboucher J., Hars M., Pinti A., Dumas G. A., Inertial and geometrical segment parameters for female elite gymnasts. In Human movement science, IXth International Symposium On The 3D Analysis Of Human Movement, Valenciennes, France. 2006. <http://www.univ-valenciennes.fr/congres/3D2006/Abstracts/148-Leboucher.pdf>
8. MUNGIOLE M., PHILIP E. M., 1990. Estimating segment inertial properties: comparison of magnetic resonance imaging with existing methods. *Journal of Biomechanics*, 23 : 1039-47.
9. Pearsall David J. J., Gavin Reid). The study of human body segment parameters in biomechanics. *Sports Med*. 1994 ; 18 (2) : 126-40.
10. PEARSALL D. J., GAVIN R. J., ROSS R., 1994. Inertial properties of the human trunk of males determined from magnetic resonance imaging. *Annals of Biomedical Engineering*, (22): 692-706.
11. Pinti A., Renesson JL., Leboucher J., Dumas G. A., Lepoutre FX., Poumarat G. Inertia parameter calculation using a SYMCAD optical scanner. *Computer Methods in Biomechanics & Biomedical Engineering*. 2005 ; 8 suppl 1 : 213-4.
12. Rao Guillaume., David Amarantini., Eric Berton., Daniel Favier Influence of body segment's parameters estimation models on inverse dynamics solutions during gait. *Journal of Biomechanics*. 2006 ; 39 (8) : 1531-36.