

			
de revue		de chirurgie orthopédique et réparatrice de l'appareil moteur	
Mémoires		Analyse de l'influence de l'ostéotomie fémorale sur la fonction clinique lors d'une étude prospective randomisée comparant les arthroplasties totales de hanche aux resurtaçages J. Girard, P.A. Vendatol, A.G. Roy et M. Lavigne 376	
Étude de la fiabilité des mesures de l'incidence pelvienne dans l'analyse de l'équilibre sagittal du bassin B. Blondel, J.-L. Boux, M. Farnel, P. Adalain, C. Sobri, P. Topolano et G. Bellini 371		La mobilité fonctionnelle de l'articulation de la hanche F. Adani, L. Bigolin, S. Crocchiolo, B. Jolani et M.-H. Fessy 382	
Deux descripteurs clés des relations sacro-cotyloidiennes : les angles d'incidence sacrée et cotyloïde. Mise en évidence par le logiciel De-Visu C. Trépo, J. Hocquet, C. Boulay, J.-P. Mentigny, J. Lagay, O. Casoy, C. Marty et G. Dorey-Beszycki 377		Complications du vissage controlatéral préventif en cas d'épiphysyolyse fémorale supérieure unilatérale : à propos d'une série rétrospective de 60 cas opérés A. Nardoni, J.-F. Laroche, V. Pivry, E. Vetterweck, J.-L. Boux et G. Bellini 392	
Survie de l'ostéotomie périacétabulaire à moyen terme dans le traitement de la dysplasie acétabulaire de l'adulte X. Flacoz, A. Cadraghi, J.-M. Aubonnet et J.-N. Argenson 396		Faits cliniques	
Résultats cotyloidiens favorables du couple métal-métal scellé dans des armatures métalliques J. Girard, S. Hervit, A. Combe, Y. Pivry, M. Soenen, P. Lathuier et H. Migaud 346		Dessertissage de l'insert métallique acétabulaire d'une prothèse totale de hanche à couple de traitement métal-métal A. Caszone 399	
Révision fémorale par allogreffes spongieuses impactées et tige cimentée. Évaluation d'une technique d'exciser modifiée améliorant la stabilité primaire de l'implant fémoral avec un recul moyen de 8,4 mois E. de Thomason, O. Guirard, R. Terzache et C. Mazel 364		Décollement épiphysaire fémoral proximal bilatéral chez un nourrisson atteint d'épilepsie généralisée. À propos d'une observation N. Paris, P. Journeaux, N. Mon Eto, T. Haumont, S.A. Bonchabréria, J.-D. Malchaire et P. Lecombe 403	
Activités sportives après resurtaçage et prothèse totale de hanche : une étude prospective randomisée M. Lavigne, V. Masse, J. Girard, A.G. Roy et P.A. Vendatol 361		Échec précoce d'une bourse antérieure d'épaule dans le traitement d'une instabilité multidirectionnelle Y. Bshir, F. Khan, E. Bolland, G. Sallant et Y. Cabonne 407	
Confrontation de la planification radiographique préopératoire et des données postopératoires lors de la mise en place des prothèses totales de hanche non cimentées R. Debarges, S. Luthig, P. Neyret et T. AHSJ Seiri 368		Une tumeur osseuse rare au radius : hémangiome capillaire S. Chahli, K.B. Abdalghani, R. Hajri, A. Lutzar, M. Mastini et L. Zakroui 413	
Revue de presse Réunions et Informations		Revue de presse Réunions et Informations	
ISSN 0006-1040 0305-9773		www.masson.fr/revues/rco Vol. 94 - n°4 - Juin 2008 Publication bimestrielle	

This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Disponible en ligne sur www.sciencedirect.com



MÉMOIRE

Deux descripteurs clé des relations sacro-cotyloïdiennes : les angles d'incidence sacrée et cotyloïde Mise en évidence par le logiciel De-Visu

Two key descriptors of the sacro-acetabular relationships: The angles of sacral and acetabular incidence

Analysis by the software De-Visu

C. Tardieu^{a,*}, J. Hecquet^a, C. Boulay^b, J.-P. Montigny^c, J. Legaye^d, O. Gagey^e, C. Marty^f, G. Duval-Beaupère^g

^a UMR 7179 CNRS, « Adaptations et Évolution des Systèmes ostéomusculaires », Muséum national d'histoire naturelle, 55, rue Buffon, 75005 Paris, France

^b Service d'orthopédie, hôpital de La Timone, Marseille, France

^c Service de médecine physique et réadaptation, hôpital Foch, Suresnes, France

^d Service d'orthopédie, cliniques universitaires de Mont-Godinne, Louvain, Belgique

^e Service d'orthopédie, hôpital Kremlin-Bicêtre, Paris, France

^f Service de médecine physique et réadaptation, CHU Raymond-Poincaré, Garches, France

^g Unité Inserm 215, biomécanique rachidienne, CHU Raymond-Poincaré, Garches, France

Acceptation définitive le : 27 novembre 2007

Disponible sur Internet le 3 avril 2008

MOTS CLÉS

Bassin ;
Cotyles ;
Rachis ;
Morphométrie géométrique

Résumé La pose des prothèses totales de hanches soulève des questions importantes concernant les relations entre l'orientation de l'articulation lombo-sacrée et celle des articulations coxo-fémorales, c'est-à-dire entre position du tronc du patient et orientation tridimensionnelle de ses cotyles. Pour élucider ces relations complexes, nous avons mené une étude morphométrique sur un échantillon de 50 bassins secs. Après la saisie des coordonnées tridimensionnelles de 47 points homologues sur chaque bassin, nous avons traité ces données grâce au logiciel de modelage statistique et visualisation graphique du bassin, le logiciel De-Visu. Nous avons mis

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : tardieu@mnhn.fr (C. Tardieu).

en évidence un nouveau paramètre pelvien sagittal, que nous avons appelé « angle d'incidence cotyloïde ». Cet angle a pour sommet le centre des cotyles et pour côtés l'épaisseur pelvienne et la médiane des axes des cotyles. Il est corrélé négativement avec l'angle d'incidence sacrée, avec lequel il partage un côté commun, l'épaisseur. Il rend compte simultanément de la position sagittale du sacrum par rapport aux cotyles et du degré d'antéversion et d'inclinaison des cotyles. Nous montrons que la somme géométrique de ces deux angles, incidence sacrée et incidence cotyloïde, est égale à l'angle sacro-acétabulaire mis en évidence par Lazennec et Saillant. Ces auteurs avaient montré que l'angle sacro-acétabulaire est la somme de deux paramètres positionnels, la pente sacrée et la bascule acétabulaire sagittale. Les trois angles – incidence sacrée, incidence cotyloïde et angle sacro-acétabulaire – sont, eux, des angles anatomiques qui ne dépendent pas de la position du bassin.

© 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

KEYWORDS

Pelvis;
Acetabula;
Spine;
Geometric
morphometry

Summary

Purpose of the study. – Implantation of total hip arthroplasties raises several important questions concerning the relationship between the orientation of the lumbosacral joint and the acetabular-femoral joint; in other words, between the position of the patients trunk and the orientation of the acetabula. To elucidate better these complex relationships, we conducted a morphometry study on a sample of 51 dry pelvis: pelv 26 female and 25 male specimens.

Material et methods. – Three-dimensional coordinates of 47 homologous points were recorded for each pelvis. Data were then processed with De-Visu, a graphic visualization software. Seven parameters were compared: sacral slope, sacral incidence, and five parameters quantifying the three-dimensional orientation of the acetabula.

Results. – The graphic modelization enabled an integral 3-D visualization of each pelvis. The sagittal view enabled simultaneous visualization of the sacrum, the sacroiliac joints, the acetabula, and their alignments, as well as the variability of their spatial relation. The position reference chosen to simulate the upright position aligned the anterior iliac spines and the superior pubic point. This position was found pertinent because the mean value of the sacral slope (41.8°) and the sacral incidence (54°) were not different from published series. The sacral slope was the most strongly correlated with the acetabular parameters. It exhibited a positive correlation with sagittal acetabular slope ($r=0.59$) and acetabular inclination ($r=0.59$). It exhibited a negative correlation with acetabular anteversion ($R=0.45$). The correlation with the sagittal acetabular slope was very strong for anteversion ($r=0.92$), and rose with acetabular inclination ($r=-0.66$). The angle formed by the two acetabular axes was highly variable (37°). The correlation between this angle and inclination was very high in males ($r=-0.88$) and non-significant in females. There was however a very strong correlation with anteversion in females ($r=-0.74$) which was non-significant in males. This contrasting finding was related to the wide spread of the inclination values in males and anteversion values in females.

Discussion. – We demonstrated a new sagittal parameter: the acetabular incidence. The summit of this angle is the center of the acetabulum. The sides are the pelvic thickness and the acetabular axes. This parameter was negatively correlated with the sacral incidence. It account simultaneously for the sagittal position of the sacrum in relation to the acetabula and for the degree of acetabular anteversion and inclination. We have demonstrated that the geometric sum of these two angles, sacral incidence and acetabular incidence, is equivalent to the sacro-acetabular angle demonstrated by Lazennec and Saillant. These authors showed that the sacro-acetabular angle is the sum of two positional parameters, the sacral slope and the sagittal acetabular tilt (or slope). The three angles – sacral incidence, acetabular incidence, sacro-acetabular angle – are anatomic angles which do not vary with the pelvic position.

© 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Introduction

Les paramètres de l'orientation tridimensionnelle des cotyles, angles d'antéversion et d'inclinaison, ont fait l'objet de nombreuses recherches cliniques [1–3] et morphologiques [4,5]. Le but est en particulier de poser les prothèses totales de hanche avec plus de rigueur [6]. Les travaux cliniques les plus récents se sont attachés à élucider les relations complexes, unissant ces paramètres acétabulaires

au sacrum et plus précisément aux paramètres lombo-sacrés gérant l'équilibre du rachis sur le bassin [7,8].

On connaît maintenant le rôle primordial de l'angle d'incidence sacrée dans les variations individuelles des courbures rachidiennes sagittales qui assurent le caractère économique de l'équilibre rachis–pelvis [9–11]. À la valeur plus ou moins grande de ce paramètre d'incidence sacrée correspond une forme plus ou moins incurvée et une implantation plus ou moins inclinée et profonde du sacrum entre les ailes iliaques [12,13]. Pour la pratique courante, une

équation prédictive a pu être proposée prévoyant la lordose adéquate à partir de l'incidence [14]. Ces constatations, confrontées à l'expérience clinique où s'intriquent pathologies de hanche et de rachis, incitent à explorer davantage l'anatomie pelvienne et rechercher les facteurs pouvant influencer l'orientation acétabulaire.

Lazennec et al. [7,8] ont mis en évidence un tel paramètre radiologique de liaison, mesurable sur une vue sagittale, l'angle sacro-acétabulaire, angle formé par le prolongement de la pente sacrée et la droite tangente aux deux bords antérieur et postérieur de l'acetabulum.

Dans une étude morphométrique amorcée en 1999 sur un échantillon de 51 bassins secs, nous avons construit les axes directionnels des cotyles et ainsi mesuré les angles d'antéversion et d'inclinaison « anatomiques » des cotyles, ainsi que l'angle de couverture des cotyles. Ces paramètres ont pu être corrélés avec d'autres caractéristiques du bassin [15,16], en particulier avec un nouveau paramètre défini de façon à être indépendant de la position du bassin dans l'espace, ou de tout référentiel choisi pour d'éventuelles mesures : « l'angle d'incidence cotyloïde ». Nous avons voulu savoir s'il existait une relation entre l'angle sacro-acétabulaire défini par Lazennec et al. [7,8] et les angles d'incidence sacrée et d'incidence cotyloïde. Il s'agissait d'associer et comparer ces constatations cliniques d'une part, basées sur des observations radiologiques in vivo, et ces constatations morphologiques d'autre part, basées sur des observations ostéologiques plus pointues effectuées sur des bassins secs.

Matériel et méthodes

Matériel

Nous avons étudié 51 bassins humains adultes (26 hommes, 25 femmes) provenant des collections d'anatomie comparée du Muséum national d'histoire naturelle, du laboratoire d'anthropologie de l'université Paris-VI (collection G. Olivier), de la faculté de médecine de Paris et de l'hôpital Raymond-Poincaré de Garches.

Méthodes

Saisie des données

Les bassins ont été saisis grâce à un réseau de 47 points repères homologues (Annexe A). Les points saisis hors cotyles étaient des points anatomiques connus, aisés à identifier et visibles sur les figures présentées. Les 12 points cotyloïdiens ont été choisis afin de pouvoir reconstruire la portion de sphère qu'ils forment, soit pour chaque cotyle quatre points périphériques équidistants, un point à mi-hauteur de l'arrière fond du cotyle et un point au centre de l'arrière fond du cotyle. Les coordonnées tridimensionnelles de chaque point ont été mesurées par l'appareil 3 Draw de la société Polhemus. La précision sur la position d'un point était de 0,5 mm.

Traitements des données

Les données ont été traitées avec le logiciel de modelage statistique et de visualisation graphique du bassin, le logiciel De-Visu, conçu par Hecquet [15,16].

Référentiel tridimensionnel de position des bassins. À l'aide du logiciel « De-Visu », nous avons recentré et réorienté tous les bassins suivant un référentiel tridimensionnel commun : ils ont été « verticalisés » en effectuant des rotations successives qui placent à la même hauteur et dans le même plan vertical les deux épines iliaques antéro-supérieures et le milieu des deux points pubiens supérieurs. Basculée postérieurement de 90°, cette position du bassin était très proche de la position couchée dite « position de chirurgie ». Chaque bassin a pu être visualisé sur écran dans chacun des trois plans frontal, sagittal et horizontal, ainsi définis.

Construction des articulations pelviennes et calcul des paramètres. Le logiciel De-Visu a construit, sur chaque bassin saisi, les centres et les axes directionnels des articulations lombo-sacrées et coxo-fémorales. Cette construction, inaccessible à partir des seuls points saisis, a nécessité le calcul des points virtuels nécessaires.

Pour l'articulation lombo-sacrée, le centre du plateau sacré était défini par le barycentre des quatre points saisis. La normale au plan du plateau sacré a été calculée pour être perpendiculaire aux deux diagonales du quadrilatère formé par ces quatre points (produit vectoriel). Elle représente l'axe directionnel de l'articulation.

Les six points saisis sur chaque cotyle ont permis de calculer le centre et le rayon de la sphère passant au mieux par ces six points (méthode des moindres carrés). La normale au plan du sourcil, appelée « axe du cotyle », a été calculée à partir des quatre points saisis sur le sourcil par une méthode analogue à celle du plateau sacré. La distance interacétabulaire a été ensuite calculée ainsi que l'épaisseur pelvienne, distance, en vue sagittale, entre le centre du plateau sacré et le milieu de la distance interacétabulaire.

Ensuite, De-Visu a calculé de nombreux paramètres, dont nous avons extrait les suivants présentés sur la Fig. 1 :

- angle d'incidence sacrée : angle sagittal entre l'épaisseur pelvienne et la perpendiculaire au plateau sacré en son milieu ;
- angle d'incidence cotyloïde, paramètre important dans la problématique de cet article : angle entre l'épaisseur et la médiane des deux axes des cotyles. La médiane des axes des cotyles relie le milieu de la distance interacétabulaire et le point d'intersection des axes des cotyles (ou le milieu de leur segment de convergence en cas de cotyles asymétriques) ;
- angle des axes des cotyles : angle entre les deux axes des cotyles et mesuré dans leur plan ;
- pente sacrée : inclinaison du plateau sacré par rapport à l'horizontale ;
- angle d'antéversion des cotyles : angle projeté dans le plan horizontal d'orientation de chaque axe cotyloïde par rapport au plan frontal (antéversion « anatomique » définie par Murray [17]) ;
- angle d'inclinaison des cotyles : inclinaison du sourcil cotyloïde sur la verticale (complément de l'angle d'inclinaison « anatomique » défini par Murray [17]). Cet angle n'est pas projeté dans le plan frontal ;
- pente acétabulaire sagittale : angle sagittal entre le grand axe de l'ellipse d'un cotyle et l'horizontale. Cet angle a

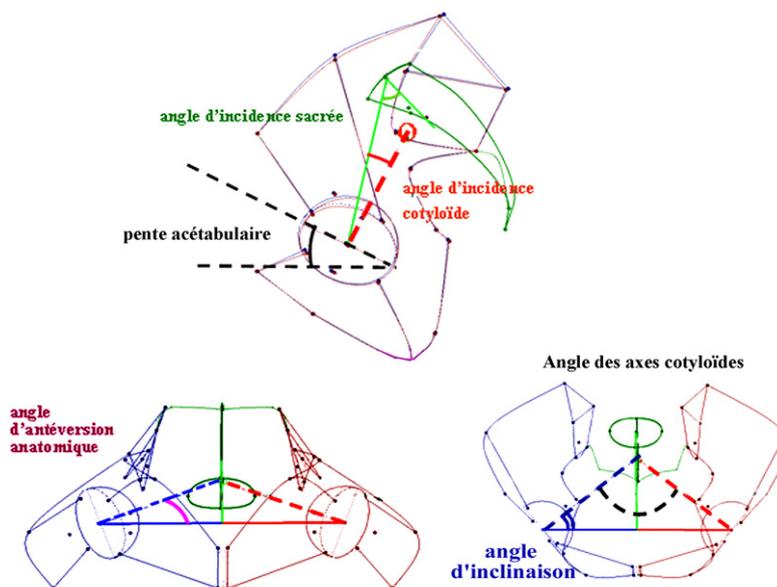


Figure 1 Ensemble des paramètres mesurés. En haut vue de profil, à gauche vue horizontale et à droite vue frontale. Les axes des cotyles sont représentés en traits-pointillés rouges sur la vue de profil. Ils sont bleus pour le côté droit et rouges pour le côté gauche sur les deux autres vues.

été appelé « bascule acétabulaire sagittale » par Lazennec et al. [7].

La valeur des quatre derniers paramètres précités dépend évidemment de l'orientation du bassin dans l'espace (paramètres fonctionnels). Dans le contexte d'une étude anatomique définissant l'orientation du bassin, ils peuvent être considérés comme des paramètres anatomiques. Pour les trois derniers angles, en cas de bassin asymétrique, la valeur moyenne des valeurs droite et gauche a été utilisée dans ce travail.

Référentiels de taille des bassins. Le logiciel « De-Visu » a permis d'utiliser deux référentiels de taille : d'une part la taille réelle, et d'autre part la taille « centroïde » qui relève d'une méthode commune à toutes les études de morphométrie géométrique [18–20], permettant d'éliminer toutes les variations de forme liées à la taille. Chaque bassin a pu être, à la demande, visualisé en taille réelle ou en taille centroïde, ou exprimé par un tableau des valeurs de chacun de ses paramètres, transposable sur feuille de calcul Excel. **Visualisation des variations des bassins d'un échantillon.** De-Visu a pu faire, à l'aide du référentiel taille centroïde, une synthèse récapitulative de tous les bassins sous forme d'un unique bassin moyen appelé « bassin global ». Ce bas-

sin correspondait aux positions moyennes de tous les points saisis. De-Visu a permis d'observer la variation morphologique d'un échantillon de bassins. Cette variabilité entre bassins a été prise en compte par la possibilité de faire varier, sur écran, de son minimum à son maximum l'un des paramètres au choix, grâce à une nouvelle technique statistique intégrée appelée « modelage par pilote » qui prenait en compte les corrélations entre ce paramètre et les coordonnées des points. La forme du « bassin global » change au fur et à mesure de son modelage par le « pilote » choisi, car par définition les autres paramètres changent aussi et leurs valeurs étaient réactualisées en temps réel. On a pu ainsi visualiser les déformations subies par tout le bassin pour toute variation de tout paramètre choisi comme « pilote ».

Résultats

Paramètres et corrélations

Le **Tableau 1** présente les valeurs obtenues pour chacun des paramètres étudiés. L'angle d'antéversion des cotyles présentait une amplitude de variation plus forte chez les femmes de 5° à 38° que chez les hommes, où elle ne variait que de 0° à 27°. Le **Tableau 2** présente le degré des corréla-

Tableau 1 Valeurs moyennes, écart-types, valeurs minimales et maximales de chaque paramètre étudié.

Bassins d'adultes	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Pente sacrée	41,84°	13,91°	10°	67°
Angle d'incidence sacrée	54,5°	11,94°	32°	76°
Angle d'incidence cotyloïde	15,9°	6,53°	2°	28°
Angle des axes des cotyles	101,65°	9,1°	83°	120°
Angle d'inclinaison des cotyles	33,53°	4,93°	24°	43°
Angle d'antéversion des cotyles	19,98°	7,88°	0°	36°
Pente acétabulaire sagittale	26,88°	11,16°	7°	53°

Tableau 2 Corrélations significatives entre les paramètres étudiés.

Corrélations entre paramètres		Mixte (R)	Hommes (R)	Femmes (R)
Pente sacrée	Angle d'incidence sacrée	0,83	0,81	0,85
Pente sacrée	Pente acétabulaire sagittale	-0,58	-0,62	-0,52
Pente sacrée	Angle d'inclinaison des cotyles	0,59	0,58	0,61
Pente sacrée	Angle d'antéversion des cotyles	-0,45	-0,47	-0,4
Pente acétabulaire sagittale	Angle d'antéversion des cotyles	0,92	0,88	0,94
Pente acétabulaire sagittale	Angle d'inclinaison des cotyles	-0,62	-0,66	-0,6
Pente acétabulaire sagittale	Angle d'incidence cotyloïde	0,66	0,47	0,77
Angle d'incidence sacrée	Angle d'incidence cotyloïde	-0,33	-0,46	-0,25
Angle d'incidence cotyloïde	Angle d'antéversion des cotyles	0,5	0,21	0,63
Angle d'incidence cotyloïde	Angle d'inclinaison des cotyles	-0,34	-0,34	-0,34
Angle des axes cotyloïdes	Angle d'antéversion des cotyles	-0,54	-0,24	-0,74
Angle des axes cotyloïdes	Angle d'inclinaison des cotyles	-0,61	-0,88	-0,37

Pour une valeur de probabilité (p : 0,001), le seuil de signification des corrélations est situé à R égal à 0,35 pour l'échantillon mixte et à R égal à 0,49 pour les hommes et les femmes séparément. Pour une valeur de probabilité (p : 0,05), il est situé à R égal à 0,27 pour l'échantillon mixte et à R égal à 0,38 pour chaque sexe.

tions significatives unissant ces paramètres, en distinguant l'échantillon mixte, les hommes et les femmes.

Nous avons représentée dans la Fig. 2 les variations extrêmes présentées dans notre échantillon par le paramètre pente acétabulaire sagittale, appelée aussi bascule acétabulaire sagittale par Lazennec et Saillant [8]. La moyenne de cet angle était de 26,9° dans l'échantillon mixte. La corrélation de cet angle était très élevée avec l'antéversion (R : 0,92) et élevée avec l'inclinaison (R : -0,62) et la pente sacrée (R : -0,58).

Angle des axes des cotyles

L'angle des axes cotyloïdes, instructif mais inaccessible cliniquement, présentait une variation importante de 37°. La Fig. 3 illustre les variations minimale et maximale de ce paramètre. Un angle élevé (119° dans l'échantillon mixte ; 121° chez les hommes ; 117° chez les femmes) se traduit sur une vue sagittale par une faible longueur des axes acétabu-

laires. En effet leur projection sagittale apparaît comme un bras court. À l'inverse un angle faible (83° dans l'échantillon mixte ; 86° chez les hommes ; 80° chez les femmes) se traduit par une forte longueur de ces axes en projection sagittale. L'angle des axes de cotyles contient une information à la fois sur le degré d'antéversion et le degré d'inclinaison des cotyles. Pour l'ensemble de l'échantillon, la corrélation de ce paramètre était plus forte avec l'angle d'inclinaison (R : -0,61) qu'avec l'angle d'antéversion (R : -0,54). Quand on prenait les hommes puis les femmes séparément, le dimorphisme sexuel se révélait nettement. La corrélation entre l'angle des axes et l'inclinaison est très élevée chez les hommes (R : -0,88) et non significative chez les femmes.

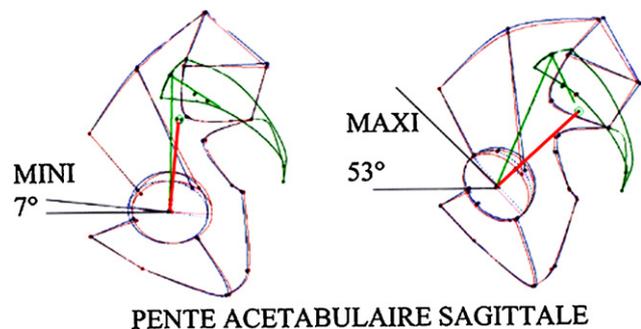
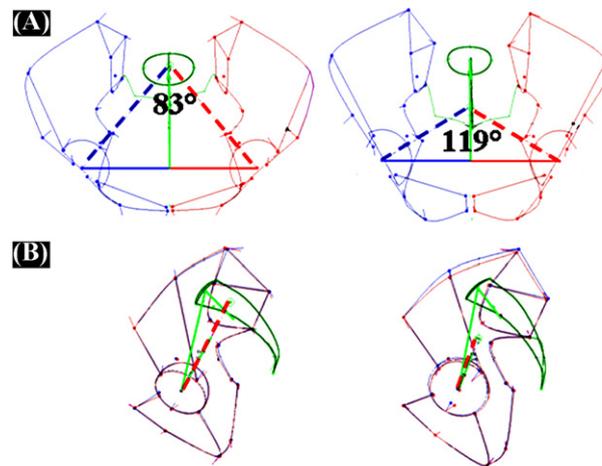


Figure 2 Paramètre «pente acétabulaire sagittale» porté de son minimum (7°) à son maximum (53°) en vue sagittale sur l'échantillon mixte. La corrélation très élevée avec l'antéversion des cotyles (R : 0,92) est visible par la direction presque verticale des axes de cotyles sur le minimum et par leur direction très oblique sur le maximum de cet angle. Notez dans la simple variation de la pente acétabulaire combien changent la pente sacrée, la position antéropostérieure du sacrum et l'angle d'incidence cotyloïde.



VARIATION DE L'ANGLE DES AXES DE COTYLES

Figure 3 Paramètre «angle des axes des cotyles», porté de son minimum (83°) à son maximum (119°) sur l'échantillon mixte. (A) : vu dans le plan des axes. (B) : vue sagittale. La corrélation négative élevée avec l'angle d'inclinaison des cotyles (R : -0,61) est visible sur les deux vues : en (A), le sourcil, réduit à une ligne, est plus incliné pour un angle faible et inversement, en (B), la projection des axes est longue pour un angle faible et inversement.

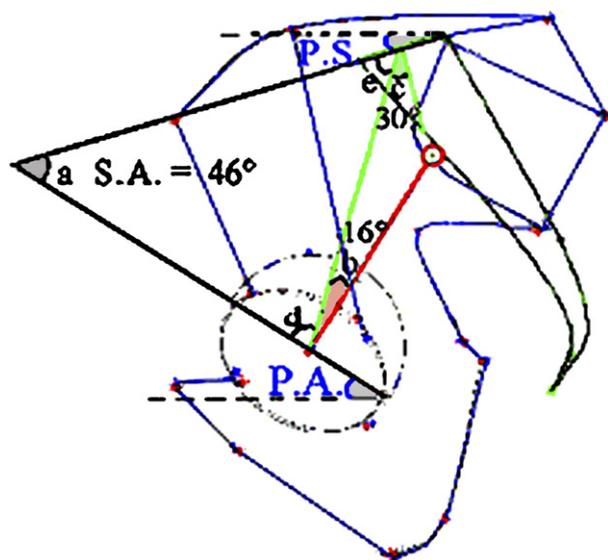


Figure 4 Un bassin masculin de l'échantillon, sur lequel on a représenté l'angle sacroacétabulaire (a : 46°), somme d'une part de la pente sacrée ($PS = 15^\circ$) et de la pente acétabulaire sagittale ($PA = 31^\circ$), somme d'autre part de l'angle d'incidence sacrée (c : 30°) et de l'angle d'incidence cotyloïde (b : 16°). Angle des axes des cotyles: $90,7^\circ$; angle d'antéversion anatomique des cotyles: 27° ; angle d'inclinaison anatomique: 36° .

En revanche, la corrélation avec l'antéversion était très élevée chez les femmes (R : $-0,74$) et non significative chez les hommes.

Angle sacroacétabulaire

Nous avons construit l'angle sacroacétabulaire sur différents bassins individuels de notre échantillon. L'angle sacroacétabulaire a été défini par ses auteurs [7,8] comme la somme de la pente sacrée et de la bascule acétabulaire sagittale, que nous appelons pente acétabulaire sagittale. Nous avons montré qu'il représentait également la somme géométrique de l'angle d'incidence sacrée et de l'angle d'incidence cotyloïde. La démonstration de cette équivalence, illustrée sur la Fig. 4, est présentée en Annexe B.

La Fig. 4 représente un bassin masculin dont l'angle sacroacétabulaire était le plus faible de l'échantillon (46°), somme d'une incidence sacrée de 30° et d'une incidence cotyloïde de 16° et somme d'une pente sacrée de 15° et d'une pente acétabulaire sagittale de 31° . L'angle des axes des cotyles est faible ($90,7^\circ$). L'angle d'antéversion anatomique des cotyles est de 27° et l'angle d'inclinaison anatomique de 36° . En contraste avec ce bassin masculin, un bassin féminin de notre échantillon (Fig. 5) présentait un angle sacroacétabulaire de 71° , somme d'une incidence sacrée de 66° et d'une incidence cotyloïde de 5° et somme d'une pente sacrée de 54° et d'une pente acétabulaire sagittale de 17° . L'angle des axes des cotyles s'élevait à 104° . L'angle d'antéversion était de 12° et l'inclinaison de 35° . Les deux angles d'incidence sacrée et cotyloïde offrent donc des combinaisons variées. L'angle sacroacétabulaire sera élevé si l'incidence sacrée est élevée et donc la pente sacrée forte, ou si l'incidence cotyloïde est forte et donc l'antéversion

anatomique forte (R égal à $0,5$ entre ces deux derniers paramètres).

Discussion

Pertinence du référentiel de position des bassins et représentativité de l'échantillon pelvien

La valeur moyenne de la pente sacrée ($41,8^\circ$) était statistiquement non différente des valeurs moyennes obtenues dans la littérature [8,14,21,22] pour des sujets placés en position debout. Le référentiel de position des bassins que nous avons choisi pour simuler la position debout était donc pertinent. Il a déjà été utilisé en radiographie [1], en CT scan [2,23], dans un système de navigation peropératoire [6] et sur des bassins secs [4]. Chez le sujet debout il existait un intervalle de plusieurs degrés par rapport à notre référentiel, c'est-à-dire une bascule antérieure ou postérieure du bassin par rapport à notre référentiel fixe, traduisant les possibilités d'adaptation à la position debout. Ce degré de bascule a été analysé dans une population adulte par une équipe japonaise [23], soit de 3° (ET: 12°) dans la position debout. Ce degré de bascule, analysé par les mêmes auteurs, était de 5° (ET: 9°) dans la position allongée, et de -29° (ET: 12°) dans la position assise. La pente sacrée était un peu plus élevée chez les hommes ($44,4^\circ$) que chez les femmes ($39,1^\circ$).

De la même façon que la pente sacrée, la valeur moyenne de l'angle d'incidence sacrée (54°) du présent échantillon ne

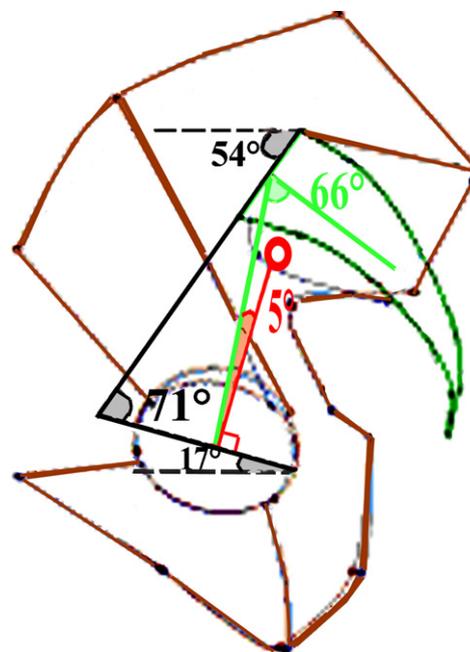


Figure 5 Un bassin féminin de l'échantillon, sur lequel on a représenté l'angle sacro-acétabulaire (a : 71°), somme d'une part de la pente sacrée ($PS = 54^\circ$) et de la pente acétabulaire sagittale ($PA = 17^\circ$), somme d'autre part de l'angle d'incidence sacrée (c : 66°) et de l'angle d'incidence cotyloïde (b : 5°). Angle des axes des cotyles: 104° ; angle d'antéversion anatomique des cotyles: 12° ; angle d'inclinaison anatomique: 35° .

différait pas statistiquement des valeurs moyennes obtenues dans la littérature [14,21,22].

Facteurs influençant l'orientation tridimensionnelle des cotyles

L'orientation des cotyles subit des influences variées, d'une part une influence ascendante venant des membres inférieurs, information inaccessible dans notre étude, d'autre part une influence descendante venant du rachis, que nous avons explorée et enfin une influence liée au sexe que nous avons prise en compte.

Rôle second de l'incidence, rôle premier de la pente sacrée

L'incidence sacrée n'exerçait pas l'influence spécifique que nous attendions sur l'orientation tridimensionnelle des cotyles. Elle gardait cependant ses relations avec les paramètres dimensionnels, épaisseur pelvienne, poutres (distances entre le centre du plateau sacré et le centre de chaque cotyle) et distance interacétabulaire et joue un rôle important dans l'accouchement à côté du paramètre angle sous-pubien [15,16]. La corrélation de l'incidence sacrée avec l'inclinaison des cotyles était significative mais faible ($R: 0,35$). L'incidence sacrée est liée à l'orientation tridimensionnelle des acetabula par l'intermédiaire de la pente sacrée à laquelle elle était fortement corrélée ($R: 0,83$). La pente sacrée était le paramètre le plus corrélé aux paramètres d'orientation du cotyle : sa corrélation avec la pente (ou bascule) acétabulaire sagittale ($R: -0,58$) et l'inclinaison des cotyles ($R: 0,59$) était prévisible. Sa corrélation négative, plus faible, avec l'antéversion des cotyles ($R: -0,45$) est nouvelle et instructive. Le choix de Lazennec et al. [7] de prendre la pente sacrée comme paramètre de référence de position d'un bassin a donc été un bon choix qui se trouve ici confirmé. Les valeurs de ces corrélations, bien que très significatives nous sont apparues cependant très insuffisantes pour envisager de proposer une équation prédictive intéressante en pratique courante. La relation soulignée par Lazennec et Saillant [8] entre diminution de la pente sacrée et de la pente acétabulaire sagittale lorsqu'on bascule vers l'arrière un même bassin de la position debout à assise a été retrouvée dans notre échantillon de bassins, tous placés cependant dans la position de référence debout. Dans la variabilité anatomique d'une série de bassins, cette relation fonctionnelle était donc présente à travers une relation anatomique.

Importance respective de l'antéversion et de l'inclinaison

Le paramètre antéversion des cotyles intéresse au plus haut point les chirurgiens puisqu'il est responsable des conflits et luxations dans les mouvements relatifs du fémur et du bassin. Cependant, dans notre échantillon le paramètre inclinaison des cotyles nous est apparu le plus informatif en raison de sa plus forte corrélation avec la pente sacrée ($R: 0,59$). Une fois connu le degré d'antéversion anatomique d'un cotyle, c'est son degré d'inclinaison anatomique qui conditionne les variations de son antéversion « fonctionnelle », contemporaine des variations fonctionnelles de la pente sacrée qui surviennent

avec le changement de position, position assise en particulier. L'augmentation de la pente sacrée fonctionnelle, pratiquement constante dans certaines pathologies neuromusculaires de l'enfant, pourrait générer au cours de la croissance des variations importantes d'antéversion et d'inclinaison des cotyles et pourrait de ce fait expliquer certaines rétroversions acétabulaires constatées à l'âge adulte [24].

Nous avons observé une forte différence liée au sexe concernant les corrélations élevées qui unissaient l'angle des axes des cotyles d'une part à l'antéversion chez les femmes ($-0,74$), d'autre part à l'inclinaison chez les hommes ($-0,88$). Ce contraste était vraisemblablement lié à la plus grande dispersion des valeurs d'inclinaison constatée chez les hommes alors que les femmes, elles, montraient une plus grande dispersion des valeurs d'antéversion vers des valeurs supérieures à celles des hommes. Les contraintes obstétricales sont probablement en cause : un cotyle à la fois petit et très antéversé a tendance à ménager un détroit supérieur plus vaste en éloignant les cotyles des articulations sacro-iliaques en vue sagittale.

Intérêt théorique de l'angle d'incidence cotyloïde

L'angle d'incidence cotyloïde est un angle morphologique non dépendant de la position du bassin. Son amplitude de variation (26° , soit de 2° à 28°) était beaucoup plus faible que celle de l'incidence sacrée (44° , soit de 32° à 76°). Il rend compte du degré d'antéversion des cotyles ($R: 0,50$) et beaucoup plus faiblement du degré d'inclinaison des cotyles ($R: -0,34$). La corrélation entre incidence sacrée et incidence cotyloïde était négative ($R: -0,33$). Quand l'incidence sacrée augmente avec la pente sacrée et l'enfoncement du sacrum entre les ailes iliaques, les axes des cotyles en vue sagittale ont tendance à se rapprocher de l'épaisseur pelvienne, tout en diminuant l'antéversion des cotyles. Inversement quand l'incidence sacrée diminue avec la pente sacrée et l'ascension du sacrum, les axes des cotyles ont tendance à s'éloigner de l'épaisseur pelvienne, tout en augmentant l'antéversion des cotyles.

Étudiées sur chaque hémibassin, ces mêmes corrélations se sont révélées beaucoup plus élevées en particulier entre incidence cotyloïde et incidence sacrée. Cette asymétrie pelvienne sera explorée de façon systématique sur l'ensemble des paramètres afin d'en apporter une interprétation synthétique et éclairée.

Les définitions positionnelle et anatomique de l'angle sacroacétabulaire

L'angle sacro-acétabulaire a été défini par ses auteurs comme la somme de deux paramètres positionnels : la pente sacrée et l'angle de bascule sagittale des cotyles, que nous avons appelé pente acétabulaire sagittale. Il est désormais défini ici par la somme de deux paramètres anatomiques, les angles d'incidence sacrée et cotyloïde, donnant ainsi une description complète de cet angle, descripteur clé des relations sacro-cotyloïdiennes.

Il faut noter que les figures présentées par Lazennec et al. [7,8] pour décrire l'angle sacro-acétabulaire correspondaient à un cas très particulier. Sur ces schémas sagittaux,

l'épaisseur se confondait avec la bissectrice des axes cotyloïdiens, l'angle d'incidence cotyloïde était donc nul, ce qui est rare. L'angle d'incidence sacrée avait une valeur de 90° , trop élevée par rapport aux amplitudes maximales, situées autour de 80° dans les populations ne présentant pas de pathologies rachidiennes. Enfin le prolongement de la pente sacrée touchait le bord antérieur des cotyles, ce qui est rare.

On a pu calculer l'angle sacro-cotyloïdien sur nos données à partir de la somme des deux angles d'incidence sacrée et cotyloïde et de la somme de la pente sacrée et de la pente acétabulaire. Nous avons observé une moyenne plus faible sur notre échantillon ($69,58^\circ \pm 11,29$) par rapport à celle de Lazennec et al. [7] ($74,8^\circ \pm 3,57$). Malgré des échantillons peu différents de par la moyenne identique des pentes sacrées, nous avons été étonnés de trouver une différence de 5° . L'amplitude de variation de l'angle sacro-acétabulaire dans notre échantillon (46° à 82°) était plus élevée que celle observée par ces auteurs (67° à 84°).

De la même façon, la moyenne de la pente (ou bascule) acétabulaire sagittale ($26,9^\circ$) dans l'échantillon mixte, était inférieure à celle de l'échantillon de Lazennec et al. [7] ($32,96^\circ$). Les valeurs extrêmes de notre échantillon (7° à 53°) étaient également beaucoup plus extrêmes que celles de Lazennec (20° à 39°).

Conclusion

Le logiciel De-Visu offre aux cliniciens un outil d'observation de la variabilité des bassins des patients qu'ils opèrent. L'étendue de la variation morphologique est connue non seulement par des moyennes et des écart-types, mais par des images conformes à la réalité des bassins de l'échantillon. Elles ne sont aucunement des images virtuelles.

Les paramètres pelviens qui présentent la plus forte pertinence clinique sont les paramètres indépendants de la position du bassin. C'était la qualité du paramètre incidence sacrée. Les paramètres cotyloïdiens, antéversion anatomique et inclinaison anatomique, sont dépendants de la position du bassin. Dans ce travail ils sont tributaires du référentiel de position adoptée. Par deux approches totalement différentes, l'une radiologique et clinique pratiquée par Lazennec et Saillant, l'autre morphologique pratiquée dans le présent travail, deux paramètres indépendants de la position du bassin ont été mis en évidence pour rendre compte des relations sacro-acétabulaires : l'un empirique, l'angle sacro-acétabulaire proposé par les auteurs précités, et l'autre théorique, l'angle d'incidence cotyloïde proposé par nous mêmes. Ces deux angles présentent chacun leurs points faibles. L'angle d'incidence cotyloïde utilise les axes des cotyles qui sont inaccessibles par la clinique et la radiologie simple. C'est un paramètre explicatif mais non utilisable cliniquement. L'évaluation de l'angle sacro-acétabulaire dépend de la qualité de la radio, imposant un profil sagittal strict. La pente sacrée acétabulaire, un des composant de cet angle, est sujette à imprécision et totalement dépendante de la bascule antéropostérieure du bassin. Nous sommes tentés de penser que ces imprécisions sont responsables des valeurs différentes que nous avons trouvées pour ces deux paramètres dans notre étude par rapport à celle de Lazennec et Saillant [8]. L'incidence

sacrée est le seul paramètre facilement accessible à la mesure. Il établit le lien entre nos deux travaux grâce à l'égalité que nous avons mise en évidence : angle sacro-acétabulaire égale à la somme des incidences sacrée et cotyloïde. Nos travaux se confortent mutuellement et nous incitent à approfondir chacun dans nos disciplines. Lazennec et Saillant s'orientent vers l'adoption de la pente sacrée comme référent permanent, ce que nos résultats reconnaissent comme très pertinent. Nous nous orientons vers l'approfondissement de chaque héli-bassin, c'est-à-dire le calcul et l'interprétation des corrélations qui unissent les paramètres pelviens droits d'une part puis gauches d'autre part. En effet, des corrélations plus fortes que celles obtenues sur les valeurs médianes sont apparues. Ce traitement unilatéral aura l'avantage d'être analogue à la situation clinique.

Annexe A

Description des 47 points sélectionnés

1. Point antérosupérieur droit de la symphyse pubienne.
2. Point le plus antérieur du sourcil cotyloïdien droit.
3. Point du sourcil cotyloïdien droit situé en regard de la jonction de la branche horizontale du pubis et de la prolongation antéro-inférieure de la crête iliaque.
4. Épine iliaque antérosupérieure droite.
5. Sommet du pilier iliaque droit.
6. Point de la concavité postérieure maximale de la crête iliaque droite.
7. Épine iliaque postérosupérieure droite.
8. Point le plus postérieur de la branche inférieure de la surface auriculaire droite : point supérieur de l'échancrure sciatique droite.
9. Point le plus profond de l'échancrure sciatique droite.
10. Limite inférieure de l'échancrure sciatique droite.
11. Épine sciatique droite.
12. Point le plus postéro-inférieur de la tubérosité ischiatique droite.
13. Point le plus bas de la tubérosité ischiatique droite.
14. Point inférieur droit de la symphyse pubienne.
15. Point inférieur gauche de la symphyse pubienne.
16. Point le plus bas de la tubérosité ischiatique gauche.
17. Point le plus postéro-inférieur de la tubérosité ischiatique gauche.
18. Épine sciatique gauche.
19. Limite inférieure de l'échancrure sciatique gauche.
20. Point le plus profond de l'échancrure sciatique gauche.
21. Point le plus postérieur de la branche inférieure de la surface auriculaire gauche : point supérieur de l'échancrure sciatique gauche.
22. Épine iliaque postérosupérieure gauche.
23. Point de la concavité postérieure maximale de la crête iliaque gauche.
24. Sommet du pilier iliaque gauche.
25. Épine iliaque antérosupérieure gauche.
26. Point du sourcil cotyloïdien gauche situé en regard de la jonction de la branche horizontale du pubis et de la prolongation antéro-inférieure de la crête iliaque.
27. Point le plus antérieur du sourcil cotyloïdien gauche.
28. Point antérosupérieur gauche de la symphyse pubienne.

29. Point le plus postérieur de la branche supérieure de la surface auriculaire droite.
30. Scalénion droit.
31. Milieu du bord inférieur de la dernière vertèbre sacrée.
32. Scalénion gauche.
33. Point le plus postérieur de la branche supérieure de la surface auriculaire gauche.
34. Milieu du bord latéral gauche du plateau supérieur de S1.
35. Milieu du bord postérieur du plateau supérieur de S1.
36. Milieu du bord latéral droit du plateau supérieur de S1.
37. Milieu du promontoire.
38. Milieu de la jonction antérieure de S1–S2.
39. Milieu du bord supéroantérieur de la dernière vertèbre sacrée.
40. Point le plus postérieur du sourcil cotyloïdien droit.
41. Point le plus inférieur du sourcil cotyloïdien droit.
42. Point à mi hauteur de l'arrière fond du cotyle droit.
43. Centre de l'arrière fond du cotyle droit.
44. Point le plus postérieur du sourcil cotyloïdien gauche.
45. Point le plus inférieur du sourcil cotyloïdien gauche.
46. Point à mi hauteur de l'arrière fond du cotyle gauche.
47. Centre de l'arrière fond du cotyle gauche.

Annexe B

Démonstration de l'égalité «angle sacro-acétabulaire : angle d'incidence sacrée et angle d'incidence cotyloïde», illustrée sur la Fig. 4.

- a* : l'angle sacro-acétabulaire ;
- b* : l'angle d'incidence cotyloïde ;
- c* : l'angle d'incidence sacrée ;
- d* : l'angle formé par l'épaisseur et le côté inférieur de l'angle sacroacétabulaire ;
- e* : l'angle formé par l'épaisseur et le côté supérieur de ce même angle.

On peut écrire l'équation : $a + d + e = 180^\circ$. Or $d = 90^\circ - b$ et $e = 90^\circ - c$, donc $a + (90^\circ - b) + (90^\circ - c) = 180^\circ$. Dès lors, $a - b - c = 0$ et ainsi $a = b + c$.

Références

- [1] Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, Compere CL, Zimmerman JR. Dislocations after total hip replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg (Br)* 1978;60:217–20.
- [2] Visser JD, Jonkers A, Hillen B. Hip joint measurements with computerized tomography. *J Pediatr Orthop* 1982;2:143–6.
- [3] Reikeras O, Bjerkreim I, Kolbenstvedt A. Anteversion of the acetabulum and femoral neck in normals and in patients with osteoarthritis of the hip. *Acta Orthop Scand* 1983;54:18–23.
- [4] Mckibbin B. Anatomical factors in the stability of the hip joint in the newborn. *J Bone Joint Surg (Br)* 1970;52:148–59.
- [5] Zilber S, Lazennec JY, Gorin M, Saillant G. Variations of caudal, central and cranial acetabular anteversion according to the tilt of the pelvis. *Surg Radiol Anat* 2004;26:462–5.
- [6] Digioia AM, Jaramaz B, Blackwell M, Simon DA, Morgan F, Moody JE. The Otto Aufranc Award. Image guided navigation system to measure intraoperatively acetabular implant alignment. *Clin Orthop* 1998;355:8–22.
- [7] Lazennec JY, Charlot N, Gorin M, Roger B, Arafat N, Bissery A, et al. Hip spine relationship: a radioanatomical study for optimization in acetabular cup positioning. *Surg Radiol Anat* 2004;26:136–44.
- [8] Lazennec JY, Saillant G. Relations hanche–rachis: application aux arthroplasties totales de hanche. In: Cahiers d'enseignement de la SOFCOT. Elsevier; 2005, 161–90.
- [9] Duval-Beaupère G, Schmidt C, Cosson P. A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis. *Ann Biomed Eng* 1992;4:451–62.
- [10] Legaye J, Hecquet J, Marty C, Duval-Beaupère G. Équilibre Sagittal du Rachis. Relations entre bassin et courbures rachidiennes sagittales en position debout. *Rachis* 1993;215–26.
- [11] Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C. The incidence, fundamental pelvic parameter for the three-dimensional regulation of the spinal sagittal curves. *Eur Spine J* 1998;7:99–103.
- [12] Marty C, Commare-Nordmann MC, Descamps H, Legaye J, Hecquet J, Duval-Beaupère G. Sacrum et incidence : quelles relations? *Rachis* 1997;3:109–14.
- [13] Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Marty C, Legaye J, Duval-Beaupère G. Anatomical reliability of two fundamental pelvic parameters: pelvic incidence and thickness. *Eur J Orthop Surg* 2005;15:197–204.
- [14] Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouillesseaux B, Marty C, et al. Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis. *Eur Spine J* 2006;15:415–22.
- [15] Tardieu C, Hecquet J, Boulay C, Legaye J, Marty C, Duval-Beaupère G. Le bassin, interface articulaire entre rachis et membres inférieurs : analyse par le logiciel DE-VISU, conçu par J. Hecquet. *C R Acad Sci Palevol* 2006;5:583–95.
- [16] Tardieu C, Hecquet J, Boulay C, Legaye J, Marty C, Duval-Beaupère G. L Comparison of neonatal and adult pelvis, *J Anat* (accepté).
- [17] Murray DW. The definition and measurement of acetabular orientation. *J Bone Joint Surg (Am)* 1993;75:228–32.
- [18] Bookstein FL. Morphometrics tools for landmarks data: geometry and biology. New-York: Cambridge University Press; 1991.
- [19] Yoccoz NG. Morphométrie et analyses multidimensionnelles. Une revue des méthodes séparant taille et forme. In: Tomasonne R, Dervin C, Masson JP, editors. Biométrie, modélisation de phénomènes biologiques. Paris: Masson; 1993. p. 77–99.
- [20] Richtsmeier JT, DeLeon VB, Lele S. The promise of geometric morphometrics. *Phys Anthropol* 2002;45:63–91.
- [21] Roussouly P, Berthonnaud E, Dimmet J. Analyse géométrique et mécanique de la lordose lombaire dans une population de 160 adultes asymptomatiques : essai de classification. *Rev Chir Orthop* 2003;89:63–9.
- [22] Vaz G, Roussouly P, Berthonnaud E, Dimmet J. Sagittal morphology and equilibrium of pelvis and spine. *Eur Spine J* 2002;11:80–7.
- [23] Nishihara S, Sugano N, Nishii T, Ohzono K, Yoshikawa H. Measurements of pelvic flexion angle using three-dimension computed tomography. *Clin Orthop* 2003;411:140–51.
- [24] Siebenrock KA, Schoeniger R, Ganz R. Anterior femoro-acetabular impingement due to acetabular retroversion. *J Bone Joint Surg (Am)* 2003;85:278–86.