

Bulletins et mémoires
de la
Société d'Anthropologie de Paris

Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris

15 (1-2) | 2003
2003(1-2)

Le dimorphisme sexuel de conformation de l'os coxal humain. Bases biologiques et nouvelles applications possibles

*Sexual shape dimorphism of the human pelvic bone. Biological bases and
possible applications*

F. Marchal



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/bmsap/552>
ISSN : 1777-5469

Éditeur

Société d'Anthropologie de Paris

Édition imprimée

Date de publication : 1 juin 2003
Pagination : 7-24
ISSN : 0037-8984

Référence électronique

F. Marchal, « Le dimorphisme sexuel de conformation de l'os coxal humain. Bases biologiques et nouvelles applications possibles », *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* [En ligne], 15 (1-2) | 2003, mis en ligne le 09 janvier 2006, consulté le 30 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/bmsap/552>

**LE DIMORPHISME SEXUEL DE CONFORMATION DE L'OS
COXAL HUMAIN. BASES BIOLOGIQUES ET NOUVELLES
APPLICATIONS POSSIBLES**

**SEXUAL SHAPE DIMORPHISM OF THE HUMAN PELVIC BONE.
BIOLOGICAL BASES AND POSSIBLE APPLICATIONS**

François MARCHAL ¹

RÉSUMÉ

L'importance du dimorphisme sexuel de l'os coxal humain est une propriété très abondamment exploitée pour la diagnose sexuelle du squelette. Une analyse morphométrique basée sur les concepts de la morphologie mathématique permet de mettre en évidence les zones de l'os coxal qui présentent le plus fort dimorphisme de conformation. Il s'agit essentiellement de l'ilium dans son ensemble, du plan sacré et du pubis. Le pubis est déjà très largement utilisé dans les techniques de diagnose sexuelle. Il pourrait être possible de développer et de tester des approches exploitant davantage le dimorphisme sexuel de conformation de l'ilium et de sa partie postérieure. Ceci serait un avantage pour les os coxaux fragmentaires et pourrait éventuellement être applicable à la diagnose sexuelle d'os coxaux de représentants non-modernes du genre *Homo*.

Mots-clés : Os coxal, *Homo* fossile, dimorphisme sexuel, conformation, morphométrie.

ABSTRACT

The extent of sexual dimorphism of the human hip bone is a characteristic widely exploited in sex diagnosis of the skeleton. A morphometrical analysis based on the concepts of mathematical morphology allows clear attribution of the areas of the pelvic bone which present the greatest dimorphism in shape. These are the ilium in its entirety, the sacral plane and the pubis. The pubis is already very widely used in techniques of sexual diagnosis. It should be possible to develop and test new approaches which deal more with the conformational dimorphism of the ilium and its posterior part. This would be an advantage in the case of fragmentary pelvic bones and could possibly be used for assessing the sex of pelvic remains of non-modern fossil Homo.

Key words: Pelvic bone, fossil Homo, sexual dimorphism, shape, morphometry.

1. UMR 5809 du CNRS, Laboratoire d'Anthropologie des Populations du Passé, Université Bordeaux 1, avenue des Facultés, 33405 Talence CEDEX, France, e-mail : f.marchal@anthropologie.u-bordeaux.fr

INTRODUCTION

La forme particulière du bassin humain est l'un des exemples les plus prégnants des adaptations biomécaniques à la station érigée et à la locomotion bipède. Parmi les conséquences de cette forme, l'existence d'une réelle cavité pelvienne est cruciale. Cet espace confiné, limité par un anneau osseux, devient, en effet, un handicap majeur dans la lignée humaine car il constitue un obstacle pour le fœtus à terme, dont les dimensions de la tête ne cessent de croître au cours de l'évolution. Pour accommoder cette situation, plusieurs mécanismes adaptatifs se sont développés. Celui qui nous intéresse ici est le fait que la conformation du bassin féminin diffère nettement de celle du bassin masculin, délimitant ainsi un canal pelvien de plus grande taille, ce qui est l'un des facteurs rendant la parturition possible malgré un rapport très défavorable entre les dimensions du crâne du fœtus à terme et celles du bassin de la mère (Abitbol 1996 ; Rosenberg 1998). Pour cette raison, l'os coxal est l'os humain présentant la conformation la plus dimorphique et il est, par conséquent, très largement utilisé en anthropologie et en médecine légale pour la diagnose sexuelle. De fait, c'est sur l'exploitation de ce dimorphisme que reposent les techniques de détermination sexuelle, qu'elles soient morphologiques ou morphométriques (par exemple, Martin 1927 ; Krogman, Iscan 1986). Malgré l'énorme quantité de travaux entrepris sur ce sujet, il est toujours important de tenter d'améliorer les approches existantes ou de développer de nouvelles approches dans divers buts comme, par exemple, diminuer davantage le pourcentage d'individus non sexés (Murail *et al.* 1999), améliorer encore la fiabilité des résultats, ou avoir le plus d'approches possibles pour faire face au caractère très souvent fragmentaire des restes pelviens dans les séries archéologiques (Bruzek 2002). De plus, un problème non résolu jusqu'à aujourd'hui est qu'il n'existe pas de technique qui soit applicable à d'autres espèces que la nôtre pour appréhender le sexe des restes d'hominidés fossiles.

Pour essayer de progresser dans ces voies, cette étude se propose de mettre en évidence quelles sont les zones de l'os coxal humain qui présentent le plus fort dimorphisme de conformation, puis d'essayer de démontrer si ce dimorphisme de conformation est constitutif ou bien s'il résulte d'un effet allométrique. Il sera alors possible de voir si les techniques de diagnose sexuelle exploitent au mieux le dimorphisme de conformation de l'os coxal et, le cas échéant, de proposer d'éventuelles zones où de futures approches pourraient être développées, dans une réelle démarche de mise au point de techniques de diagnose palliant certaines déficiences des approches utilisées actuellement.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel

L'échantillon utilisé dans ce travail est composé des os coxaux de 91 squelettes humains adultes de sexe connu (42 féminins et 49 masculins) provenant de la collection de Spitalfields au Natural History Museum de Londres (XVIII^e s., cf. Molleson, Cox 1993), et de la collection d'I. Gemmerich Pfister à Genève (XX^e s., cf. Gemmerich Pfister 1999). La prise en compte de ces os comme adultes résulte de l'observation d'une fusion complète de tous les points d'ossification secondaires.

Méthode

Les théories de la morphologie mathématique ont été développées dans les années 1970 par l'École des Mines de Paris (Serra 1982). Il s'agit d'analyses d'images s'appuyant sur la géométrie intégrale et l'algèbre booléenne. Ces analyses permettent :

- d'extraire des variables de taille quantitatives (surfaces, périmètres, diamètres de Féret) dans les régions d'intérêt de l'image ;

- d'extraire de ces régions de l'image certains attributs caractéristiques, principalement des variables de conformation.

Un des avantages de cette approche est d'accéder de façon simple, précise et reproductible à des variables habituellement difficiles à obtenir en anthropologie classique, comme les surfaces ou les périmètres. L'obtention de variables de conformation caractéristiques de zones sélectionnées est un deuxième avantage, particulièrement bien adapté à la mise en évidence de dimorphisme sexuel de conformation sur un os ou une région particulière d'un os, notamment.

Chaque os est orienté à l'aide d'un bras multiarticulé, construit pour les besoins de cette étude. Des clichés en noir et blanc sont réalisés à l'aide d'un appareil photographique muni d'un objectif de 150 mm de focale, placé à au moins 150 cm de l'os de façon à rendre les déformations de l'image négligeables. Une échelle est placée à côté de l'os pour permettre le calibrage de l'image durant son traitement informatique. Les images obtenues sont numérisées et certaines zones de l'os coxal (os entiers, surfaces articulaires ou insertions musculaires) sont analysées par l'application Métapéricolor, qui repose sur les théories de la morphologie mathématique (Serra 1982). De ces zones sont extraites douze variables qui quantifient simplement et objectivement leur forme. Sept sont des variables de taille :

- DD : grand diamètre de Féret. La zone étudiée est projetée sur une famille de droites dont l'angle augmente degré par degré de 0° à 180°. La projection dont la

longueur montre la plus forte valeur est le grand diamètre de Féret qui représente ainsi une mesure parfaitement objective de la longueur absolue de la zone.

– DM : moyen diamètre de Féret. Il est égal au périmètre convexe de la zone (voir ci-dessous) divis e par π .

– DL : petit diamètre de Féret. C'est la longueur de la projection de la zone consid eree dans l'axe perpendiculaire au grand diamètre de Féret. Il représente une mesure de la largeur de la zone.

– SS : surface (mesure de l'aire de la totalité de la zone).

– LP : périmètre courant (mesure du contour exact de la zone).

– LV : périmètre convexe (mesure du contour convexe de la zone).

– R : rayon moyen. Il s'agit de la valeur du rayon du cercle dont la surface est la même que celle de la zone.

Les cinq autres variables sont des variables de conformation :

– E : élongation. $E = DD/DL$.

– F : enroulement. $F = LP/(2 \times DD)$.

– Q : quadrature. $Q = LP/(4 \times DL)$.

– C : circularité. $C = 4\pi \times SS/LP^2$.

– CA : complexité du contour. $CA = LP/LV$.

Les longueurs de la corde et de l'arc suivant la crête iliaque, entre les épines iliaques supérieure, antérieure et postérieure, ont également  e calculées. Leur rapport permet de calculer, pour la conformation de l'ilium, un indice que nous avons appelé « élévation de la crête iliaque », ECI (pour les détails de la méthode, cf. Marchal 1997, 2000a).

Cette approche a  e appliquée à sept zones de l'os coxal : l'ilium (l'os dans son ensemble, en vue externe), le plan iliaque, le plan sacré, la surface auriculaire, la crête iliaque, l'ischium et le pubis (*fig. 1*). Les comparaisons entre hommes et femmes ont  e effectuées à l'aide du test de Student pour chaque variable des sept zones. De plus, pour chaque variable de conformation, a  e r ealis e un graphe du type $y = f$ (surface), reflétant le comportement de ces variables lorsque la taille de l'os augmente. Un test bilatéral indique si la pente de la droite de régression extraite de ces graphes est significativement différente de zéro, c'est-à-dire s'il y a ou non un changement de conformation avec l'augmentation de la taille. Ceci peut donc être considère comme une mise en évidence d'une tendance allométrique, mais à considérer au sens large. En effet, l'approche développée ici est différente de la notion originelle d'allométrie qui aboutit à une relation de type $y = bx^a$ (Huxley, Teissier 1936). Finalement, les droites de régression sont alors recalculées en séparant les individus masculins et les individus féminins et les pentes de ces droites sont schématiquement représentées dans la colonne « allométrie M/F » de la figure 2. Les résultats sont alors confront es à des cas théoriques pr esent es dans la figure 3.

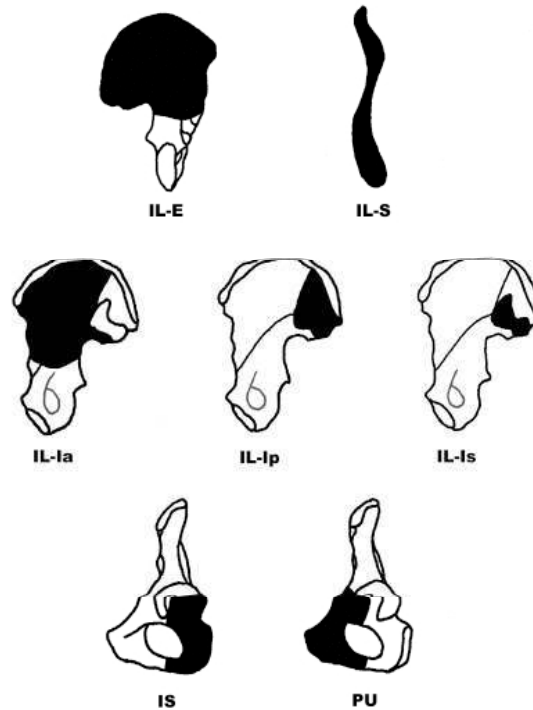


Fig. 1 - Les sept zones de l'os coxal. IL-E : ilium face externe ; IL-Ia : plan iliaque ; IL-Ip : plan sacré ; IL-Is : surface auriculaire ; IL-S : bord supérieur de l'ilium ; IS : ischium ; PU : pubis.

Fig. 1 —The seven areas of the pelvic bone. IL-E: ilium external face; IL-Ia: iliac plane; IL-Ip: sacral plane; IL-Is: auricular surface; IL-S: ilium superior border; IS: ischium; PU: pubis.

RÉSULTATS

Les résultats présentés dans le tableau I montrent que notre échantillon manifeste un dimorphisme sexuel de taille important. Une majorité écrasante de variables de taille est plus importante sur les os masculins que sur les os féminins, quelle que soit la zone considérée. La principale exception concerne le pubis mais, même dans ce cas, aucune variable de taille n'est supérieure chez les femmes. Au contraire, trois variables de taille sont supérieures chez les hommes, et non des moindres puisqu'il s'agit notamment de la surface de l'os, SS, et de sa longueur, DL. Cette longueur, telle que définie ici, représente la plus grande dimension hors-tout de l'os. Elle ne correspond pas nécessairement à la définition anthropologique habituelle, à savoir la longueur du pubis ou le diamètre

acétabulo-symphysaire, qui sont classiquement utilisés pour mettre en évidence l'importance de l'allongement de la branche supérieure de l'os sur les os féminins.

Nature	Masculins > Féminins		Masculins > Féminins		Pas de différence	
	Taille	Conformation	Taille	Conformation	Taille	Conformation
Ilium face externe	DD, DM, DL, SS, LP, LV, R	F, C, CA, ECI		E		Q
Plan iliaque	DD, DM, DL, SS, LP, LV, R					E, F, Q, C, CA
Plan sacré	DD, DM, DL, SS, LP, LV, R	E, Q		F		C, CA
Surface auriculaire	DD, DM, SS, LP, LV, R	E	F		DL	Q, C, CA
Crête iliaque	DD, DM, DL, SS, LP, LV	Q	R			E, F, Q, C, CA
Ischium	DD, DM, DL, SS, LP, LV, R					E, F, Q, C, CA
Pubis	DL, SS, R	C		E, F, Q, CA	DD, DM, LP, LV	

Tabl. 1 - Tableau synoptique du dimorphisme sexuel de l'os coxal humain. DD : grand diamètre de Féret, DM : moyen diamètre de Féret, DL : petit diamètre de Féret, SS : surface, LP : périmètre courant, LV : périmètre convexe, R : rayon moyen, E : élongation, F : enroulement, Q : quadrature, C : circularité, CA : complexité du contour.

Table 1 —Synoptic table of the sexual dimorphism of the human pelvic bone. DD: Féret's great diameter, DM: Féret's average diameter, DL: Féret's small diameter, SS: surface, LP: actual perimeter, LV: convex perimeter, R: average radius, E: elongation, F: rolling, Q: squaring, C: circularity, CA: contour complexity.

Le comportement des variables de conformation est beaucoup plus varié. Certaines zones montrent une majorité de variables de conformation pour lesquelles les tests statistiques ont permis de mettre en évidence des différences entre os masculins et féminins. Il s'agit essentiellement de l'ilium en vue externe, du pubis et du plan sacré. D'autres zones montrent, au contraire, une majorité de variables n'ayant pas fourni de résultats significatifs aux mêmes tests. Ce sont le plan iliaque, la surface auriculaire, la crête iliaque et l'ischium.

Le comportement des variables de conformation des trois zones les plus dimorphiques est exprimé en fonction de la surface de la zone considérée (ce qui est appelé « allométrie totale » sur la *fig. 2*). Un test permet de savoir si la pente de la droite de régression calculée est statistiquement différente de zéro. Le résultat de ce test est présenté dans la colonne « allométrie totale » de la figure 2 par une flèche horizontale si le test est négatif, une flèche verticale si le test indique une pente statistiquement différente de zéro. La flèche pointe alors vers le bas dans le cas d'une pente négative et vers le haut pour traduire une pente positive. Les résultats obtenus ne sont pas homogènes. Certaines droites de régression ont une pente différente de zéro, qui peut

ILIUM FACE EXTERNE			
Variables	Dimorphisme sexuel	Allométrie totale	Allométrie M/F
E anat.	M>F	—	
F	M>F	—	
C	M>F	—	
CA	M>F	—	
ECl	M>F	—	

PLAN SACRÉ			
Variables	Dimorphisme sexuel	Allométrie totale	Allométrie M/F
E	M>F	—	
F	M<F	—	
Q	M>F	—	

PUBIS			
Variables	Dimorphisme sexuel	Allométrie totale	Allométrie M/F
E	M<F	—	
F	M<F	—	
Q	M<F	—	
C	M>F	—	
CA	M<F	—	

Fig. 2 - Dimorphisme sexuel ou allométrie de l'os coxal humain. La colonne « dimorphisme sexuel » rappelle le comportement dimorphique de la variable considérée. La colonne « allométrie totale » représente schématiquement le résultat d'un test statistique indiquant si la pente de la droite de régression est différente de zéro. Les droites de régression sont recalculées en séparant les individus masculins et les individus féminins et les pentes de ces droites sont schématiquement représentées dans la colonne « Allométrie M/F » (droite de régression en trait gras pour les femmes, en trait normal pour les hommes). Voir la discussion dans le texte. E : elongation, F : enroulement, C : circularité, CA : complexité du contour, ECl : élévation de la crête iliaque, Q : quadrature.

Fig. 2 —Sexual dimorphism or allometry in the human pelvic bone. The second column shows the dimorphic behaviour of each variable. The third column schematically represents the result of a statistical test indicating whether the slope of the regression line is different from zero. Regression lines are calculated again for males and females separately and the behaviour of their slope is schematically presented in the fourth column (regression line in bold for female, in normal for male). See text for discussion. E: elongation, F: rolling, C: circularity, CA: contour complexity, ECl: elevation of the iliac crest, Q: squaring.

être positive ou négative. Les autres montrent une pente pour laquelle le résultat du test est négatif. Lorsque les droites de régression sont calculées séparément pour les sous-échantillons masculin et féminin (« allométrie M/F » sur la *fig. 2*), pratiquement tous les cas de figures sont représentés : les pentes sont approximativement égales, de signes opposés ou seule l'une des deux est statistiquement différente de zéro.

DISCUSSION

Un dimorphisme de conformation en mosaïque

Le plan iliaque et l'ischium sont nettement dimorphiques en taille mais, dans leur conformation générale, ne semblent, en revanche, montrer aucun dimorphisme. Ainsi, les ischiums masculins et féminins ne seraient que des variants d'échelle, ce qui confirme l'opinion de Moeschler (1965) sur l'absence de différence de conformation entre les os masculins et féminins. De la même manière, la crête iliaque ne ressort pas comme une zone de conformation dimorphique dans notre échantillon. Ceci conforte donc la prudence recommandée par Bruzek et Ferembach (1992) quant à l'utilisation de la conformation de cette zone pour la détermination du sexe.

Il est possible de proposer ici une hypothèse expliquant pourquoi l'estimation de la courbure de la crête iliaque a pu être présentée par certains auteurs comme un critère pertinent pour une diagnose sexuelle (par exemple par Ferembach *et al.* 1979). Nous avons observé par ailleurs (Marchal 1997) que la crête iliaque était sensible à l'augmentation de taille, aussi bien chez l'homme que chez le gorille ou le bonobo (mais étrangement pas dans notre échantillon de chimpanzés). Les changements de conformation enregistrés traduisent une augmentation de la largeur de la crête et de sa courbure. Cet épaissement et ce cintrage de l'aile semblent s'intégrer de façon cohérente dans une logique biomécanique de résistance à des contraintes croissantes, aussi bien statiques que dynamiques. Le dimorphisme de taille étant variable chez l'homme, il est par conséquent possible de proposer l'hypothèse suivante. Au sein d'une population de faible dimorphisme de taille, les différences entre hommes et femmes seront insuffisantes pour engendrer des différences nettes au niveau de la conformation de la crête iliaque. Au contraire, dans une population très dimorphique en taille, les ailes iliaques seront beaucoup plus épaisses et cintrées, avec, pour conséquence, une crête iliaque aux courbures plus marquées. Un dimorphisme pourra donc être observé, mais il s'agira, en toute rigueur, d'une conséquence d'un phénomène allométrique. On pourrait parler de dimorphisme de conformation d'origine allométrique, par opposition à un dimorphisme de conformation intrinsèque (cf. ci-dessous).

Les différences de variables de conformation de l'ilium correspondent à un os masculin court antéro-postérieurement, limité approximativement par un cercle. Les fortes valeurs de l'enroulement de la complexité du contour reflètent particulièrement bien la conformation de la grande échancrure sciatique masculine, issue d'un enroulement vers le bas de la partie postérieure de l'aile. Ceci peut être mis en parallèle avec le creusement de cette échancrure au cours de l'ontogenèse, objectivée par l'augmentation avec l'âge des paramètres de conformation qui sont ici supérieurs chez les sujets masculins (Marchal 1997). Au contraire, l'aile iliaque féminine est allongée antéro-postérieurement, cadrant dans une ellipse plutôt que dans un cercle. Par rapport à l'os masculin, la partie postérieure de l'aile féminine semble être tirée vers le haut et l'arrière. C'est ce qui délimite une grande échancrure sciatique ouverte, souvent symétrique. Cet étirement vers le haut et l'arrière a, bien sûr, pour conséquence d'éloigner le sacrum de la symphyse pubienne, ce qui agrandit la cavité pelvienne antéro-postérieurement et augmente la circonférence du détroit supérieur. Les différences de conformation de la grande échancrure sciatique seraient donc le reflet de cet agencement différent de la partie postérieure de l'aile iliaque. Des processus morphogénétiques, tels que ceux proposés par Lovejoy *et al.* (1999) dans une perspective évolutive, pourraient également sous-tendre la mise en place de ces différences sexuelles de conformation. Toutes les techniques impliquant l'évaluation de la conformation de la grande échancrure sciatique (Lazorthes, Lhez 1939 ; Genoves 1959 ; Ferembach *et al.* 1979 ; Arsuaga 1985 ; Vacca *et al.* 1997 ; Bruzek 2002) expriment donc la position plus ou moins haute et reculée de la partie postérieure de l'aile iliaque. Cette focalisation de l'attention non sur la structure en elle-même, mais sur le contour d'un « vide » qui résulte en grande partie de la position de cette structure, découle, bien sûr, de la plus grande facilité qu'il y a à estimer, morphologiquement ou morphométriquement, le contour de la grande échancrure sciatique plutôt que celui de l'aile iliaque dans son ensemble. Il pourrait toutefois être intéressant de développer et de tester des approches visant à exploiter ce dimorphisme de conformation de l'aile, ne serait-ce que pour les cas où le mauvais état du segment ischiatique de la grande échancrure sciatique empêche son exploitation pour la détermination du sexe.

Les différences de conformation enregistrées entre les plans sacrés masculins et féminins s'inscrivent dans le cadre de cette conformation générale différente de l'aile iliaque. Sur les os féminins, le plan sacré bas et étiré s'inscrit naturellement dans le cadre d'une aile iliaque ovoïde, étirée antéro-postérieurement. Ce même plan est, au contraire, haut et court sur les os coxaux masculins, conséquence de la conformation beaucoup plus circulaire de l'os. Il pourrait, ici aussi, être intéressant d'essayer de tester des approches de diagnose sexuelle sur cette zone pour les os coxaux dont l'aile iliaque n'est pas conservée dans sa totalité (cas fréquent), puisque cette zone postérieure de l'aile, épaisse et massive, est assez souvent bien préservée.

La comparaison des variables de conformation du pubis montre que l'os féminin est plus allongé que le masculin, même si aucune des variables de taille n'est plus forte pour les pubis féminins. Les fortes valeurs enregistrées sur ces os, pour la complexité du contour ou l'enroulement, reflètent la position de la branche inférieure de l'os. Celle-ci est située plus crânialement que sur les os masculins, ce qui a pour effet d'ouvrir l'angle sous-pubien. De nombreuses techniques de détermination du sexe exploitent aussi bien l'élongation acétabulo-symphysaire de la branche supérieure que la migration crâniale de la branche inférieure (Washburn 1948 ; Genoves 1959 ; Moeschler 1965 ; Ferembach *et al.* 1979 ; Arsuaga 1985 ; Arsuaga, Carretero 1994 ; Bruzek 2002, *inter alia*).

Les fondements du dimorphisme

Nous avons évoqué ci-dessus le cas de la crête iliaque, parfois considérée comme dimorphique, et avons proposé qu'en fait, il ne s'agit pas réellement de dimorphisme sexuel de conformation fondamental, mais d'une conséquence allométrique devenant perceptible dans le cas de populations humaines de taille fortement dimorphique. Qu'en est-il du dimorphisme de conformation mis en évidence ici sur l'ilium, le plan sacré et le pubis ?

Sur les treize variables de conformation statistiquement différentes entre ces trois zones des os masculins et féminins (cinq sur six pour l'ilium et le pubis, trois sur cinq pour le plan sacré), sept ne montrent aucune tendance allométrique pour l'échantillon groupé (sujets féminins et masculins indistincts, cf. *fig. 2*). Les différences entre les sexes mises en évidence pour ces sept variables ne peuvent donc résulter d'un effet allométrique puisqu'un tel effet ne semble pas exister. Il est donc raisonnable de considérer qu'en ce qui concerne ces variables, le dimorphisme sexuel de conformation est constitutif et non le résultat d'une tendance allométrique.

Pour les six autres variables, il convient de se reporter à la dernière colonne de la figure 2, représentant cette fois le comportement des variables de conformation lorsque les sexes sont distingués. Les sous-échantillons masculins et féminins sont considérés séparément et, pour chacun, la droite de régression correspondant au nuage de points est calculée. Quatre cas théoriques peuvent se présenter. Après les avoir discutés sur la base des représentations schématiques de la figure 3, nous examinerons, à chaque fois, auxquels de ces cas théoriques correspondent les résultats obtenus pour les variables qui montrent une allométrie totale, afin de pouvoir faire la part entre allométrie et dimorphisme sexuel.

1^{er} cas théorique (fig. 3a) : Les pentes des droites de régression des sous-échantillons féminin et masculin sont approximativement parallèles et horizontales. Il n'y a pas de tendance allométrique intra-sexuelle. La conformation ne change pas

lorsque la taille augmente au sein de chaque sous-échantillon. Mais il existe une différence de conformation entre les sujets masculins et féminins. Le dimorphisme sexuel ne résulte pas d'un effet allométrique et peut être considéré comme constitutif. En revanche, il est intéressant de voir qu'en appréhendant l'échantillon groupé, la droite de régression globale montrerait une pente qui pourrait être interprétée comme une tendance allométrique alors qu'il ne s'agit que de l'effet du dimorphisme sexuel. Aucune des variables que nous avons observées ne montre ce type de comportement.

2^e cas théorique (fig. 3b) : Les pentes des deux droites de régression sont approximativement parallèles et montrent une pente. La tendance allométrique est donc la même chez les sujets féminins et masculins (on pourrait dire qu'il n'y a pas de dimorphisme sexuel de l'allométrie). Il est évident, à l'examen des graphes schématiques, qu'un os masculin et un os féminin qui seraient de la même taille n'auraient pas pour autant la même configuration, et ce quelle que soit la taille. Le dimorphisme de conformation n'est donc pas le résultat d'une différence de taille. Là encore, il peut donc être considéré comme constitutif et non pas allométrique. Parmi les variables étudiées, c'est le cas de la circularité (C) et de l'élévation de la crête iliaque (ECI) pour la face externe de l'ilium, de la quadrature (Q) et de la circularité (C) pour le pubis.

3^e cas théorique (fig. 3c) : Les pentes des droites de régression féminine et masculine sont différentes. Les droites de régression sont alors sécantes. Il peut ainsi exister un dimorphisme de la tendance allométrique d'une variable, ce qui est particulièrement intéressant. Mais puisque les droites de régression sont sécantes, ceci implique à nouveau que les os masculins et féminins ne peuvent être considérés comme des variants de taille. Là encore, le dimorphisme semble constitutif. Parmi les variables montrant une tendance allométrique, c'est le cas de la complexité du contour (CA) de la face externe de l'ilium et du pubis.

4^e cas théorique (fig. 3d) : Avec des droites de régression qui sont alignées, c'est le seul cas où la conformation est reliée à la taille, selon la même relation chez les sujets masculins et féminins, et où toute différence de conformation ne résulte que d'une différence de taille quel que soit le sexe. Les différences de conformation observées entre les deux sexes résultent alors uniquement du fait que les sujets masculins sont en moyenne de taille supérieure. C'est la seule situation traduisant un véritable dimorphisme sexuel issu d'une tendance allométrique. Aucune variable considérée ne correspond à ce cas théorique.

Il apparaît, par conséquent, qu'il n'est possible de déceler un effet allométrique pour aucune des variables de conformation dimorphiques des trois zones considérées. Ceci voudrait donc dire que le dimorphisme sexuel de conformation générale de l'ilium et du pubis serait strictement constitutif et non pas allométrique dans l'espèce humaine.

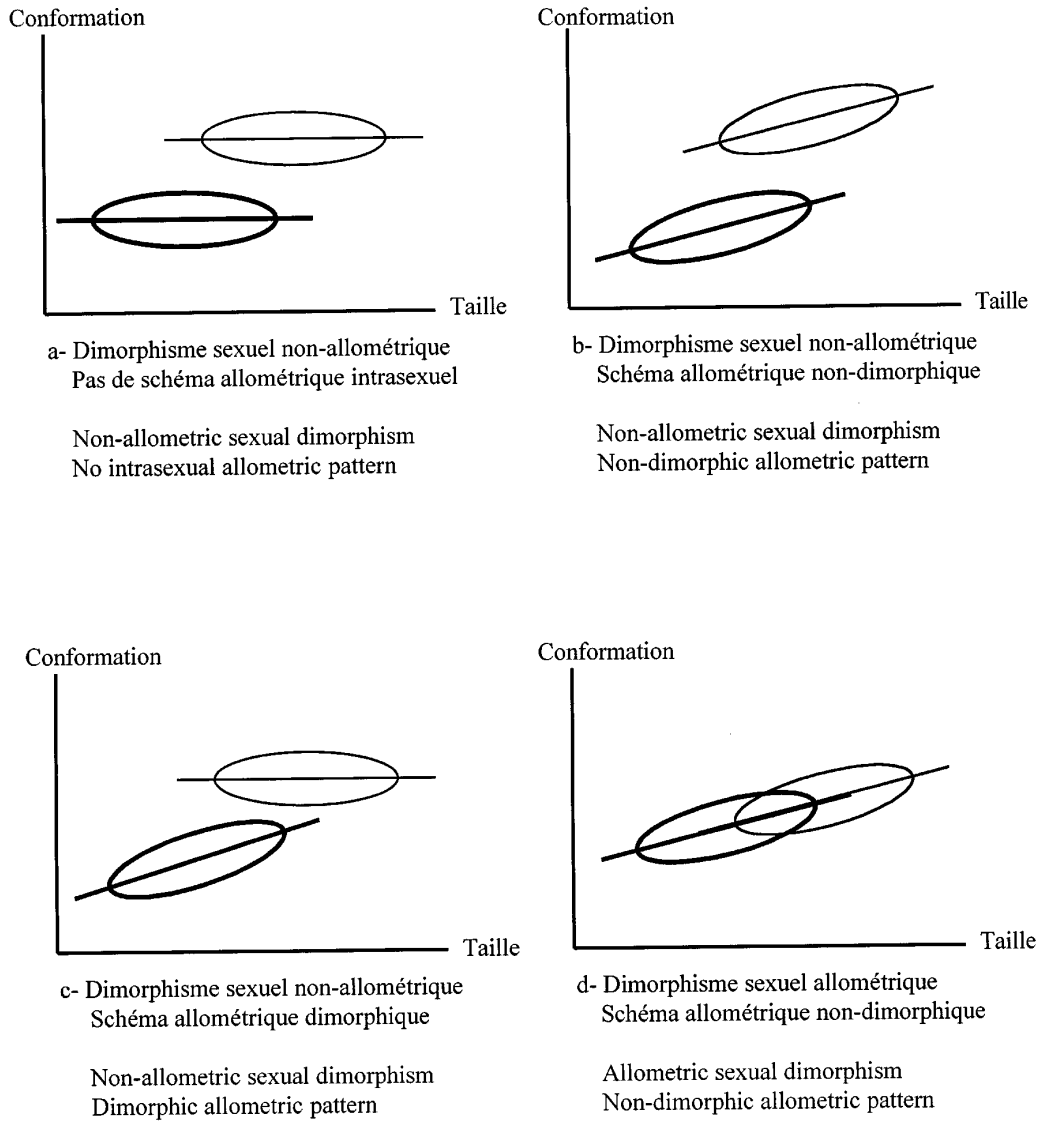


Fig. 3 - Allométrie et dimorphisme sexuel : quatre cas théoriques.

Fig. 3 —Allometry and sexual dimorphism: four theoretical cases.

Ceci est en accord avec des études précédentes pour le pubis (Mobb, Wood 1977 ; Wood, Chamberlain 1986 ; Arsuaga, Carretero 1994), mais serait nouveau, à notre connaissance, en ce qui concerne l'ilium. Ceci implique donc des processus ontogénétiques féminins et masculins sensiblement différents pour le pubis aussi bien que pour l'ilium, tout particulièrement au niveau de sa partie postérieure.

Une possible application paléontologique

Le dimorphisme sexuel du bassin humain actuel est une des composantes d'un équilibre adaptatif subtil et complexe permettant, chez les femmes, à la fois la naissance de fœtus avec de grosses têtes et la réalisation de la station érigée et de la locomotion bipède. De nombreux facteurs interviennent dans le développement du dimorphisme sexuel du bassin actuel : l'adaptation des os du bassin au mode de locomotion, à l'environnement ou au statut nutritionnel notamment, les mécanismes obstétricaux, la régulation de la durée et des rythmes de croissance fœtaux, la mise en place de l'altricialité ou la persistance des fontanelles. La mise en place de chacun de ces facteurs dans la lignée humaine ne fait actuellement l'objet d'aucun consensus (voir, par exemple, la variété des avis dans Berge *et al.* 1984 ; Trinkaus 1984 ; Tague, Lovejoy 1986 ; Abitbol 1996 ; Rosenberg, Trevathan 1996 ; Arsuaga *et al.* 1999). Il est cependant plausible de supposer que le dimorphisme sexuel du bassin ne préexistait pas, ou du moins pas sous sa forme actuelle, aux pressions sélectives découlant du déséquilibre céphalo-pelvien entre le fœtus à terme et la mère. En l'absence de consensus, il est donc ontologiquement fallacieux d'appliquer toute démarche de diagnose sexuelle développée à partir du bassin humain actuel à une autre espèce que la nôtre.

Ainsi, le pubis des représentants non-modernes du genre *Homo* présente une morphologie particulière chez les Néandertaliens (Stewart 1960 ; Trinkaus 1976, 1983 ; Heim 1982) et, sans doute, chez les *Homo erectus s.l.* (Lü 1995 ; Marchal 1997, 1999, 2000a, b ; Rosenberg 1998 ; Arsuaga *et al.* 1999). Ceci l'exclut de toute démarche de détermination sexuelle de restes pelviens non-modernes, basée sur les approches définies sur des populations modernes (Heim 1983 ; Bruzek 1991). Mais nous avons montré, par ailleurs, la forte homogénéité de conformation générale entre les iliums de tous les représentants du genre *Homo*, qu'ils soient modernes ou non (Marchal 1997, 1999, 2000a).

Nous proposons donc de développer une hypothèse proposée précédemment (Marchal 1997, 1999, 2000a, b) en y intégrant une réflexion concernant l'émergence du dimorphisme sexuel de type moderne sur le bassin humain. Le bassin des représentants non-modernes du genre *Homo (erectus s.l.* et Néandertaliens) présentait plusieurs caractéristiques distinctes des bassins modernes, parmi lesquelles une grande largeur de

la cavité pelvienne, notamment liée à des pubis de grande taille (Arsuaga *et al.* 1999 ; *contra* Rak, Arensburg 1987). Plus qu'une différence locale, ceci s'inscrivait probablement dans le cadre d'un schéma fémoro-pelvien différent, la grande largeur inter-acétabulaire du bassin pouvant biomécaniquement être reliée à la morphologie des fémurs de ces mêmes hommes archaïques, avec, par exemple, un col long (Ruff 1995). Cette largeur de la cavité pelvienne proportionnellement grande devait impliquer des contraintes obstétricales moindres qu'aujourd'hui. Sans que cela entraîne nécessairement des mécanismes obstétricaux différents des mécanismes actuels, il est plausible que la différence de conformation entre les iliums masculins et féminins ait suffi à accommoder les sollicitations obstétricales enregistrées par le bassin féminin. Lors de l'émergence des hommes modernes, il semblerait que l'ensemble de l'appareil locomoteur subisse un réajustement modifiant l'ensemble des paramètres biomécaniques. Fémurs et bassins enregistrent ce changement d'équilibre. Sur les fémurs, la longueur du col diminue, l'angle collo-diaphysaire s'ouvre, la concavité de la diaphyse s'inverse... (Ruff 1995 ; Trinkaus, Ruff 1999). Sur le bassin, l'ensemble du cadre du foramen obturé diminue de taille par rapport à la taille générale de l'os coxal (Marchal 2000b), la distance inter-acétabulaire diminue, l'orientation des ailes iliaques change légèrement, amenant une migration relative vers l'arrière du pilier iliaque. De tout ceci résulte une cavité pelvienne plus confinée. Les dimensions du crâne fœtal à terme augmentant par ailleurs (Ruff *et al.* 1997), les contraintes obstétricales deviennent telles que des modifications importantes, notamment un fort allongement acétabulo-symphysaire, deviennent nécessaires au déroulement des mécanismes obstétricaux.

Si cette hypothèse est correcte, cela implique que les modalités de dimorphisme sexuel affectant la conformation générale de l'ilium sont communes à l'ensemble des représentants du genre *Homo*, alors que celles mettant en cause le pubis, si largement utilisées dans les techniques de détermination sexuelle des os coxaux récents, seraient tout à fait propres aux seuls hommes modernes. Les pubis des représentants non-modernes du genre *Homo* présenteraient soit des modalités de dimorphisme différentes, soit pas de dimorphisme marqué. Il pourrait donc être intéressant de tenter des déterminations sexuelles sur des restes pelviens d'hommes archaïques, reposant sur des approches impliquant uniquement la conformation générale de l'ilium, et ne prenant pas en compte la morphologie pubienne.

CONCLUSION

Il apparaît que le dimorphisme sexuel de conformation de l'os coxal résulte principalement de différences constitutives et non pas allométriques. Ces différences de conformation concernent très préférentiellement le pubis et l'ilium, tout particulièrement sa partie postérieure. La seule différence sexuelle étant apparue comme pouvant résulter d'un effet allométrique concerne la conformation de la crête iliaque, mais sa manifestation serait variable et, par conséquent, son utilisation à des fins de diagnose sexuelle à proscrire.

Les différences de conformation mises en évidence ici, au niveau du pubis, sont bien connues et employées depuis longtemps dans la plupart des approches de diagnose sexuelle, qu'elles soient morphologiques ou morphométriques. En revanche, peu de techniques exploitent spécifiquement la conformation générale de l'ilium ou certaines de ses composantes, comme la conformation de sa partie postérieure ou l'élévation de la crête iliaque. Nous pensons qu'il pourrait être intéressant de développer et de tester des approches de diagnose sexuelle exploitant les différences sexuelles de conformation de ces zones. Un des avantages résulte de la conservation des os coxaux : les parties postérieures d'ilium sont solides et bien plus souvent préservées que les pubis. Nous proposons ici l'hypothèse que les représentants non-modernes du genre *Homo* possédaient le même type de dimorphisme sexuel que les hommes modernes pour l'ilium mais pas pour le pubis. Si ceci s'avère exact, un autre avantage possible pourrait alors être l'utilisation de ces approches pour la diagnose sexuelle des restes pelviens de représentants archaïques du genre *Homo*.

Remerciements

Je remercie les personnes qui m'ont permis d'accéder au matériel ostéologique : T. Molleson (Natural History Museum, Londres) et I. Gemmerich (Université de Genève). Je remercie également G. Berillon, J. Bruzek et P. Murail pour leurs conseils pendant la préparation du manuscrit, ainsi que les correcteurs anonymes pour les améliorations que leurs remarques ont permis d'apporter. Ce travail a été réalisé au sein de l'UMR 6569 du CNRS et a été financé par le Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie.

BIBLIOGRAPHIE

- ABITBOL (M.) 1996, *Birth and human evolution, Anatomical and obstetrical mechanics in primates*, Bagin and Garvey, Westport, Connecticut and London, 237 p.
- ARSUAGA (J.L.) 1985, *Antropología del hueso coxal: evolución, dimorfismo sexual y variabilidad*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 399 p.
- ARSUAGA (J.L.), CARRETERO (J.M.) 1994, Multivariate analysis of the sexual dimorphism of the hip bone in a modern human population and in early hominids, *American Journal of Physical Anthropology* 93: 241-257.
- ARSUAGA (J.L.), LORENZO (C.), CARRETERO (J.M.), GRACIA (A.), MARTINEZ (I.), GARCIA (N.), BERMUDEZ de CASTRO (J.M.), CARBONELL (E.) 1999, A complete human pelvis from the Middle Pleistocene of Spain, *Nature* 399: 255-258.
- BERGE (C.), ORBAN-SEGEBARTH (R.), SCHMID (P.) 1984, Obstetrical interpretation of the Australopithecine pelvic cavity, *Journal of Human Evolution* 7: 573-587.
- BRUZEK (J.) 1991, *Fiabilité des procédés de détermination du sexe à partir de l'os coxal, Implications à l'étude du dimorphisme sexuel de l'homme fossile*, Thèse de Doctorat du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 563 p.
- BRUZEK (J.) 2002, A method for visual determination of sex, using human hip bone, *American Journal of Physical Anthropology* 117: 157-168.
- BRUZEK (J.), FEREMBACH (D.) 1992, Fiabilité de la méthode visuelle de détermination du sexe à partir du bassin, proposée par le « Groupe de travail d'Anthropologues européens », Application à l'os coxal, *Archivio per l'Antropologia e la Etnologia* 122 : 145-161.
- FEREMBACH (D.), SCHWIDETZKY (I.), STLOUKAL (M.) 1979, Recommandations pour déterminer l'âge et le sexe sur le squelette, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 13, 6 : 7-45.
- GEMMERICH PFISTER (I.) 1999, *Création d'une collection anthropologique de référence et application des caractères discrets dans le cas de généalogies connues*, Thèse de l'Université de Genève, Genève, 266 p.
- GENOVES (S.) 1959, L'estimation des différences sexuelles dans l'os coxal ; différences métriques et différences morphologiques, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 10, 10 : 3-95.
- HEIM (J.-L.) 1982, *Les Hommes fossiles de la Ferrassie, Tome II, Les squelettes adultes (squelette des membres)*, Archives de l'Institut de Paléontologie Humaine 38, Masson, Paris, 272 p.
- HEIM (J.-L.) 1983, Les variations du squelette post-crânien des Hommes de Néandertal suivant le sexe, *L'Anthropologie* 87 : 5-26.
- HUXLEY (J.S.), TEISSIER (G.) 1936, Terminology of relative growth, *Nature* 137: 780-781.
- KROGMAN (W.M.), ISCAN (W.M.) 1986, *The human skeleton in forensic medicine*, C.C. Thomas, Illinois.
- LAZORTHES (G.), LHEZ (A.) 1939, Les caractères sexuels de la grande échancrure sciatique, *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* 10 : 180-185.

- LOVEJOY (C.O.), COHN (M.J.), WHITE (T.D.) 1999, Morphological analysis of the mammalian postcranium: a developmental perspective, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96: 13 247-13 252.
- LÜ (Z.) 1995, Study of the hip bone of Jinniushan Man, *Wenwujikan* 2: 1-10.
- MARCHAL (F.) 1997, *L'os coxal des hominidés fossiles*, Thèse de l'Université de la Méditerranée Aix-Marseille 2, 314 p.
- MARCHAL (F.) 1999, L'os coxal du genre *Homo* au Pléistocène inférieur et moyen, *L'Anthropologie* 103, 2 : 223-235.
- MARCHAL (F.) 2000a, A new morphometric analysis of the hominid pelvic bone, *Journal of Human Evolution* 38: 347-365.
- MARCHAL (F.) 2000b, L'ischium et le pubis des Néandertaliens : morphologie particulière ou héritage ancestral ? *Biométrie Humaine et Anthropologie* 18, 1-2 : 77-85.
- MARTIN (R.) 1927, *Lerhbuch der Anthropologie*, G. Fisher Verlag, Jena.
- MOBB (G.E.), WOOD (B.A.) 1977, Allometry and sexual dimorphism in the primate innominate bone, *American Journal of Anatomy* 150: 531-537.
- MOESCHLER (P.) 1965, Structures morphologiques et dimorphisme sexuel : essai de différenciation métrique, Application à l'os coxal, *Archives Suisses d'Anthropologie Générale* xxx : 1-56.
- MOLLESON (T.I.), COX (M.) 1993, *The Spitalfields Project, Volume 2: The anthropology, The middling sort*, CBA Research report 86, Council for British Archaeology, London, 231 p.
- MURAIL (P.), BRUZEK (J.), BRAGA (J.) 1999, A new approach to sexual diagnosis in past populations, Practical adjustments from Van Vark's procedure, *International Journal of Osteoarchaeology* 9: 39-53.
- RAK (Y.), ARENSBURG (B.) 1987, Kébara 2 Neanderthal pelvis: first look at a complete inlet, *American Journal of Physical Anthropology* 73: 227-231.
- ROSENBERG (K.R.) 1998, Morphological variation in west Asian post-crania, Implications for obstetric and locomotor behavior, in T. Akazawa, K. Aoki, O. Bar-Yosef (eds), *Neandertals and modern humans in Western Asia*, Plenum Press, New York and London, p. 367-379.
- ROSENBERG (K.R.), TRAVATHAN (W.) 1996, Bipedalism and human birth: the obstetric dilemma revisited, *Evolutionary Anthropology* 4: 161-168.
- RUFF (C.B.) 1995, Biomechanics of the hip and birth in early *Homo*, *American Journal of Physical Anthropology* 98: 527-574.
- RUFF (C.B.), TRINKAUS (E.), HOLLIDAY (T.W.) 1997, Body mass and encephalization in Pleistocene *Homo*, *Nature* 387: 173-176.
- SERRA (J.) 1982, *Image analysis and mathematical morphology*, Academic Press, London, 610 p.
- STEWART (T.D.) 1960, Form of the pubic bone in Neanderthal man, *Science* 131: 1437-1438.
- TAGUE (R.G.), LOVEJOY (C.O.) 1986, The obstetric pelvis of AL 288-1 (Lucy), *Journal of Human Evolution* 15: 237-255.
- TRINKAUS (E.) 1976, The morphology of European and southwest Asian Neanderthal pubic bones, *American Journal of Physical Anthropology* 44: 95-104.
- TRINKAUS (E.) 1983, *The Shanidar Neandertals*, Academic Press, London, 502 p.

- TRINKAUS (E.) 1984, Neandertal pubic morphology and gestation length, *Current Anthropology* 25: 509-514.
- TRINKAUS (E.), RUFF (C.B.) 1999, Diaphyseal cross-sectional geometry of Near Eastern Middle Palaeolithic humans: the femur, *Journal of Archaeological Science* 26: 409-424.
- VACCA (E.), NOVOTNY (V.), VANCATA (V.), PESCE DELFINO (V.) 1997, Shape analysis of *incisura ischiadica major* in sexing the human pelvis, *Anthropologie* 35, 3: 291-301.
- WASHBURN (S.L.) 1948, Sex difference in the pubic bone, *American Journal of Physical Anthropology* 6: 199-207.
- WOOD (B.A.), CHAMBERLAIN (A.T.) 1986, The primate pelvis: allometry or sexual dimorphism? *Journal of Human Evolution* 15: 257-263.