

La croissance du pelvis de l'Homme comparée à celle des Pongidés africains : implications dans l'évolution de la bipédie

Christine BERGE

Résumé

Une comparaison entre 34 pelvis et 51 os coxaux humains juvéniles et adultes d'une part; et 150 pelvis de pongidés africains juvéniles et adultes d'autre part, a permis de mettre en évidence l'originalité des allométries de croissance sur le pelvis humain. Des courbes de croissance sont aussi utilisées pour montrer qu'il y a plusieurs étapes importantes dans la croissance du pelvis humain. Il est un fait que la plupart des caractères pelviens sont déjà acquis bien avant la naissance. Cependant, c'est au moment de la naissance, qu'apparaît un caractère morphologique essentiel sur l'ilion, le tubercule fessier. Ce caractère est l'amorce d'un changement dans la forme et l'orientation de l'aile iliaque. C'est seulement avec l'apprentissage de la marche que la morphologie pelvienne humaine est acquise dans ses grandes lignes. La croissance post-pubertaire du pelvis est cependant importante car elle correspond à un allongement du membre inférieur dans son ensemble.

Mots-clés : Pelvis, allométrie, croissance, *Pan troglodytes*, *Pan paniscus*, *Gorilla gorilla*, *Homo sapiens*.

Abstract

A comparison was made between 34 pelvis and 51 hip bones of juvenile and adult humans in the one hand, and 150 pelvis from juvenile and adult African apes in the other, in order to bring to light the specific growth allometries of the human pelvis. Growth curves are also used to reveal the different stages in reaching a fully bipedal morphology in humans. It is true that most of these traits are already present in the early fetal pelvis. However, around the period of birth, a fundamental morphological trait, the iliac tubercle, appears on the ilium. This trait is the beginning of a change in shape and position of the iliac blade. It is only with the learning of bipedalism that the human pelvis shape is attained. However, the post-pubertal growth is also important because it allows the lengthening of the lower limb as a whole.

Keywords: Pelvis, allometry, growth, *Pan troglodytes*, *Pan paniscus*, *Gorilla gorilla*, *Homo sapiens*.

1. INTRODUCTION

De par sa situation à la charnière entre le tronc et les membres inférieurs, le pelvis est un organe essentiel de la locomotion. D'une part, les principaux systèmes musculaires du tronc, de la cuisse et de la jambe s'insèrent sur ses parois, d'autre part, c'est par son intermédiaire que le poids corporel du tronc est transmis aux membres postérieurs. Les études précédentes ont montré que, du fait des contraintes de la bipédie, la morphologie pelvienne de l'Homme est tout à fait originale comparée à celle des autres primates. Le pelvis humain diffère de celui des grands singes à la fois dans sa forme, ses proportions, et dans l'orientation des éléments qui le constituent (Berge, 1991, 1993). Ceci nous amène à la question suivante : dans quelle mesure les caractères pelviens spécifiques à l'Homme sont-ils déjà acquis avant l'apprentissage de la bipédie, ou à l'inverse se mettent-ils en place avec la pratique de la marche? C'est à cette période, en effet, que l'enfant se déplaçant exclusivement en position verticale, la chaîne articulaire tronc-cuisse-jambe

acquiert progressivement ses possibilités d'extension, les membres inférieurs prenant une position adductée, le pied étant posé à plat sur le sol et non plus posé sur son bord externe.

Curieusement, les études classiques en anthropologie et en primatologie fournissent peu d'informations sur les changements évolutifs et fonctionnels du pelvis humain au cours de sa croissance. La plupart des études ont en effet eu pour objectif de rechercher les critères anatomiques permettant la détermination du sexe ou de l'âge des individus (Bruzek, 1992; Bruzek et Novotny, 1993; Majó *et al.*, 1993). D'autre part, les études menées par Barham (1971) et Coleman (1971) sur les directions d'accroissement du pelvis de l'Homme et du chimpanzé suggèrent plutôt une similitude des processus de croissance entre les deux espèces. En réalité, nous nous plaçons ici dans un tout autre contexte. Ce ne sont pas les directions d'accroissement qui diffèrent d'une espèce à l'autre, mais les vitesses relatives sur les différents segments, car ces vitesses conduisent à modifier les proportions et la forme globale de l'organe étudié. Une étude précédente utilisant des méthodes multivariées, a montré en

effet que les dimensions du pelvis humain se modifient différemment les unes des autres, et différemment aussi des dimensions pelviennes des grands singes (Berge, 1993). À ceci s'ajoutent des changements de rythme de croissance qui conduisent à accroître fortement certaines dimensions du corps humain, notamment dans la période post-pubertaire (Pineau, 1991).

Le but de cette étude est donc double : (1) la mise en évidence des caractères originaux de la croissance du pelvis humain par comparaison avec les pongidés africains. Les méthodes bivariées classiques, auparavant définies par Huxley (1932), Huxley et Teissier (1936), et Teissier (1948), permettent de calculer et de comparer entre elles les allométries de croissance des dimensions pelviennes dans chacune des espèces. Rappelons que les allométries peuvent être interprétées comme des vitesses de croissance relatives, dans la mesure où chaque pente d'une droite d'allométrie indique si la dimension pelvienne croît plus vite (allométrie positive), moins vite (allométrie négative), ou

avec la même vitesse (isométrie), que le référentiel de taille, qui est ici la longueur maximale de l'os coxal ou longueur du pelvis (PEL, fig. 1). Cette méthode a l'avantage de permettre une étude de la croissance sans faire intervenir l'âge des individus. Mais ce type d'analyse ne représente nullement la croissance réelle de l'organe étudié, qui peut présenter des fluctuations au cours du temps. L'erreur serait en effet d'assimiler la taille des individus à leur âge, car l'on sait que la croissance, et notamment celle de l'Homme, n'a pas un rythme régulier (Teissier, 1955; Pineau, 1991). C'est pourquoi, on comparera aussi au sein de l'espèce humaine, (2) les courbes de croissance des différentes dimensions pelviennes, c'est-à-dire l'accroissement de chaque dimension pelvienne en valeur absolue par rapport à l'âge réel des individus. Le but de cette comparaison est de déterminer à quel âge les caractères morphologiques se mettent en place. En quelque sorte, existe-t-il un âge-clé pour l'acquisition des caractères de la bipédie? Comme on l'a supposé plus haut, peut-on situer cet âge-clé avant ou pendant l'apprentissage de la marche? Ou s'agit-il plutôt de modifications progressives et continues se poursuivant jusqu'à l'âge adulte, comme c'est le cas pour la longueur des os longs ou la stature, par exemple?

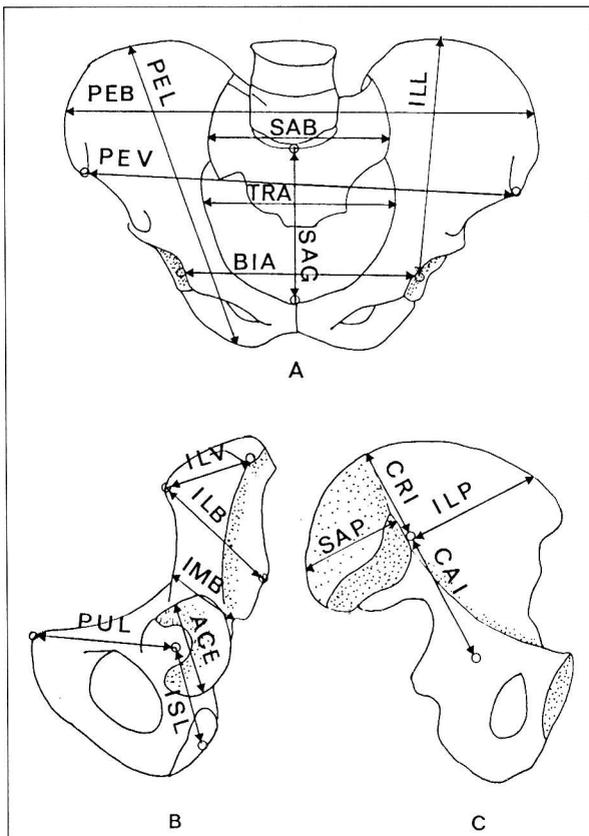


Fig. 1 : Les mesures définies sur le pelvis humain.
A. Vue ventrale; B : face externe de l'os coxal;
C : face interne de l'os coxal.

Ces mêmes mesures sont appliquées aux pongidés africains, avec comme différences que PEV est alors confondue avec PEB, et que ILV est nulle.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

Le matériel comprend 192 pelvis et os coxaux. Seuls les pelvis et les os coxaux humains sont d'âge connu :

- *Homo sapiens* : 85 restes pelviens, soit 34 pelvis et 51 os coxaux isolés, tous d'âge connu s'échelonnant du fœtus de cinq mois et demi, à l'adulte de 26 ans. Certains pelvis sont de sexe connu (21 mâles, 13 femelles). Ces pièces osseuses appartiennent à la collection Orfila de l'Institut d'Anatomie, hébergée au Centre Universitaire des Saints-Pères (Paris 5) et du Laboratoire d'Anthropologie du Muséum national d'Histoire Naturelle, Paris (Musée de l'Homme).
- *Pan troglodytes* : 65 pelvis dont 50 juvéniles. 32 spécimens appartiennent aux collections du Musée royal de l'Afrique centrale à Tervuren (Belgique), 33 spécimens aux collections du Laboratoire d'Anatomie Comparée du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.
- *Pan paniscus* : 28 pelvis dont 12 juvéniles. Ces pelvis appartiennent aux collections du

Musée royal de l'Afrique centrale à Tervuren (Belgique).

- *Gorilla gorilla* : 46 pelvis dont 25 juvéniles. 13 pelvis des collections du Musée royal de l'Afrique centrale à Tervuren (Belgique), et 33 pelvis des collections du Laboratoire d'Anatomie Comparée du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Les pelvis et les os coxaux des grands singes ne comprennent pas de fœtus ni d'individus de moins d'un an.

2.2. Méthodes

a) Mesures

18 dimensions pelviennes ont été définies sur le pelvis de l'Homme et 16 sur celui des pongidés africains (tableau 1, fig. 1).

Code	Mesures du pelvis
ACE	Diamètre de l'acétabulum
BIA	Diamètre biacétabulaire
CAI	Longueur du segment caudal (ou inférieur) de l'ilion
CRI	Longueur du segment cranial (ou supérieur) de l'ilion
ILB	Largeur de l'ilion
ILL	Longueur de l'ilion
ILP	Largeur maximale du plan iliaque
ILV	Largeur de la partie ventrale (ou antérieure) de l'ilion
IMB	Largeur minimale de l'ilion
ISL	Longueur de l'ischion
PEB	Largeur du pelvis
PEL	Longueur du pelvis (longueur de l'os coxal)
PEV	Largeur ventrale (ou antérieure) du pelvis
PUL	Longueur du pubis
SAB	Largeur du sacrum
SAG	Diamètre sagittal du détroit cranial (ou supérieur) du pelvis
SAP	Largeur maximale du plan sacré
TRA	Diamètre transverse du détroit cranial (ou supérieur) du pelvis

Tabl. 1 : Code et définition des mesures du pelvis

Trois dimensions du pelvis humain nécessitent d'être expliquées.

— La mesure PEV est, chez les grands singes, confondue avec la mesure PEB. En effet, chez les primates non-humains, les ailes iliaques étant latérales et planes, la largeur maximale du pelvis (PEB) se trouve située entre les épines iliaques antéro-supérieures (PEV). Chez l'Homme adulte, les mesures PEV et PEB sont clairement distinctes l'une de l'autre, car la largeur maximale du pelvis se trouve placée plus en arrière, au niveau des

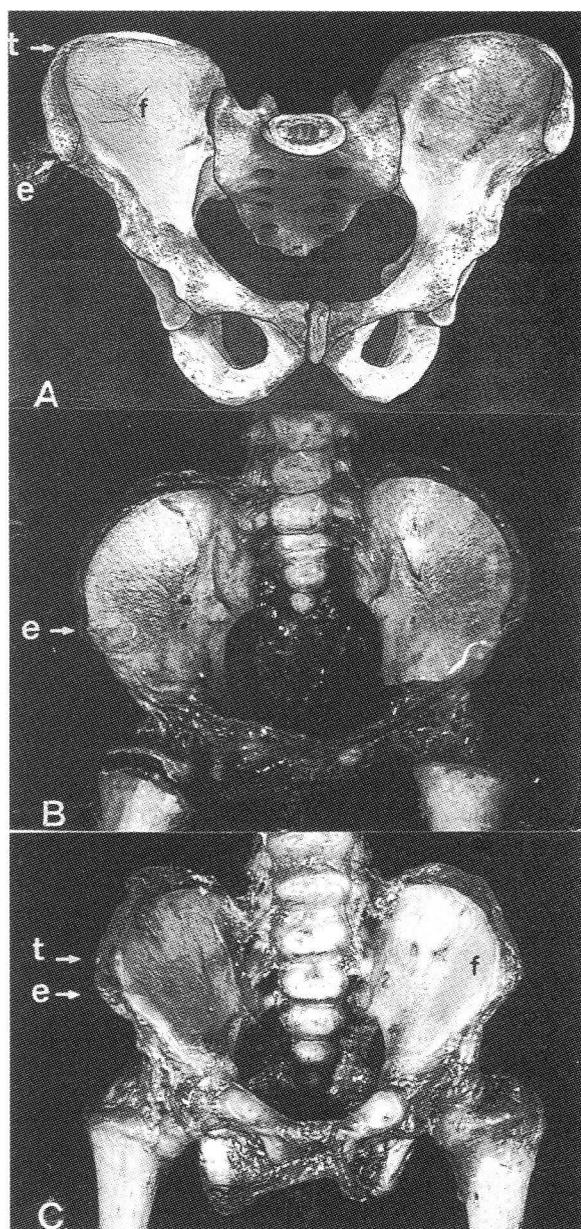


Fig. 2 : Le pelvis humain en vue ventrale.

A : adulte; B : fœtus de cinq mois et demi; C : nouveau-né. e : épine iliaque antéro-supérieure; f : fosse iliaque interne; t : tubercule fessier. PEB est située entre les tubercules fessiers; PEV entre les épines iliaques antéro-supérieures.

tubercules fessiers (fig. 2A). Mais ce n'est pas le cas chez les fœtus qui, comme les grands singes, ont des ailes iliaques planes et latéralement étendues et par conséquent PEB et PEV confondues (fig. 2B). Au moment de la naissance, on observe une modification de la forme du pelvis, avec la formation des tubercules fessiers, qui fait que la dimension PEB devient sensiblement différente de PEV (fig. 2C).

— Pour les mêmes raisons, la mesure ILV, distance entre l'épine iliaque antéro-supérieure et le tubercule fessier, n'existe pas chez les pongidés

ni chez les fœtus humains. Sur l'ilion humain juvénile et adulte, ILV (distance t-e, fig. 2A,C) correspond à la partie latérale de l'ilion qui change d'orientation pour devenir ventrale chez l'adulte.

b) Calculs

17 exposants d'allométries correspondant aux dimensions pelviennes de l'Homme, et 15 à celles des pongidés africains, ont été calculés pour chaque espèce, en faisant la régression par la méthode des moindres-carrés de chaque dimension pelvienne log-transformée par rapport à la longueur du pelvis log-transformée (PEL, fig. 1).

Rappelons que l'équation d'allométrie est :

$$(1) \quad y = b x^a$$

et sa transformation logarithmique :

$$(2) \quad \log y = a \log x + \log b$$

où les variables sont : y , une dimension du pelvis; x , la longueur du pelvis qui représente sa taille pour chaque espèce considérée; les constantes sont : a , l'exposant d'allométrie ou pente de la droite d'allométrie (aussi nommé coefficient d'allométrie), et $\log b$, l'ordonnée à l'origine ou constante d'équilibre (Huxley et Teissier, 1936; Teissier, 1948).

Le tableau 2 donne les exposants d'allométrie (pentes des droites d'allométrie), l'intervalle de confiance, et le coefficient R^2 de chaque dimension pelvienne pour les quatre espèces considérées. Le coefficient de détermination R^2 (qui est le carré du coefficient de corrélation R) indique les proportions de la variation totale expliquée par la relation d'allométrie entre les deux variables.

c) Graphiques

Deux sortes de graphiques ont été utilisés ici. D'une part, des histogrammes permettent de mieux comparer les allométries chez l'Homme et les pongidés africains. Sur chaque histogramme, les dimensions pelviennes sont placées en abscisses, et les exposants d'allométrie (ou pentes des droites d'allométrie) en ordonnées. Rappelons qu'un exposant d'allométrie égal à 1 indique que la dimension pelvienne reste proportionnelle au référentiel de taille durant la croissance (isométrie), qu'un exposant supérieur à 1 indique que la dimension croît plus vite que le référentiel (allométrie positive), et inférieur à 1 que la dimension proportionnellement décroît (allométrie négative). D'autre part, les courbes de croissance de huit dimensions pelviennes ont été tracées chez l'Homme. Il s'agit de trois longueurs mesurées sur le pelvis et sur l'ilion (PEL, ILL, CAI), des deux largeurs du pelvis (PEB, PEV) et de trois

Code	<i>Pan troglodytes</i>				<i>Pan paniscus</i>				<i>Gorilla gorilla</i>				<i>Homo sapiens</i>						
	N	a	sd(a)	R ²	N	a	sd(a)	R ²	N	a	sd(a)	R ²	N	a	sd(a)	R ²			
PEB	63	1,09	0,03	0,95	26	1,11	0,03	0,98	44	1,06	0,02	0,99	17	0,99	0,02	0,99			
BIA		1,26	0,05	0,92		1,20	0,07	0,92		1,18	0,03	0,97		0,85	0,03	0,98			
TRA		1,29	0,05	0,92		1,29	0,07	0,93		1,17	0,03	0,97		1,01	0,02	0,99			
SAB		0,92	0,04	0,90		0,95	0,06	0,91		0,84	0,04	0,91		1,24	0,03	0,99			
SAG		0,95	0,03	0,95		0,90	0,05	0,93		0,96	0,03	0,95		0,90	0,03	0,98			
PEV		1,09	0,03	0,95		1,11	0,03	0,98		1,06	0,02	0,99		0,91	0,02	0,99			
ILB	63	1,16	0,04	0,94	26	1,16	0,04	0,97	44	1,06	0,02	0,98	52	0,98	0,01	0,99			
ILL		1,01	0,02	0,98		0,98	0,01	1,00		0,99	0,01	1,00		0,97	0,01	0,97			
PUL		1,10	0,04	0,93		1,10	0,04	0,97		1,05	0,02	0,98		0,97	0,02	0,97			
ISL		0,99	0,03	0,96		1,08	0,03	0,98		0,96	0,02	0,98		1,05	0,02	0,99			
CAI		0,99	0,03	0,95		0,90	0,05	0,94		0,99	0,03	0,97		0,88	0,02	0,97			
CRI		1,03	0,04	0,93		1,05	0,06	0,92		0,89	0,04	0,90		0,99	0,02	0,97			
ILP		1,17	0,03	0,95		1,27	0,03	0,98		1,19	0,03	0,98		0,97	0,02	0,99			
SAP		0,93	0,06	0,82		0,94	0,08	0,85		0,79	0,04	0,90		1,05	0,02	0,98			
IMB		1,00	0,05	0,86		1,04	0,06	0,91		1,01	0,04	0,95		0,90	0,01	0,99			
ACE		30	0,84	0,06		0,85	0,75	0,05		0,90	11	0,65		0,05	0,93	50	1,09	0,03	0,97
ILV			0,00	0,00		0,00	0,00	0,00		0,00		0,00		0,00	0,00		1,27	0,04	0,94

Tabl. 2 : Résultats des équations d'allométries de croissance calculées sur les dimensions pelviennes de l'Homme et des pongidés africains.

N : nombre d'individus; a : exposant d'allométrie (ou pente de la droite d'allométrie); sd(a) : intervalle de confiance de a ; R² : coefficient de détermination.

largeurs mesurées sur l'ilion (ILB, ILP, ILV). L'âge des individus, placé en abscisses, va du fœtus de 5 mois et demi aux adultes de 25 ans. Sur ces courbes, les sexes n'ont pas été distingués du fait du nombre restreint d'individus dans certaines tranches d'âge. Il est à noter cependant, que d'après l'observation des pièces osseuses, l'âge adulte (correspondant à la fusion complète de l'ilion, de l'ischion, du pubis et de la crête iliaque) est atteint vers 16 ans chez les filles, et vers 21 ans chez les garçons.

3. RÉSULTATS

3.1. Les changements de proportions du pelvis de l'Homme et des pongidés africains durant la croissance

a) Les allométries du pelvis

1. Pongidés africains

Les exposants d'allométrie de cinq dimensions pelviennes correspondant aux proportions globales du pelvis des pongidés africains sont représentés figure 3. Les exposants s'échelonnent

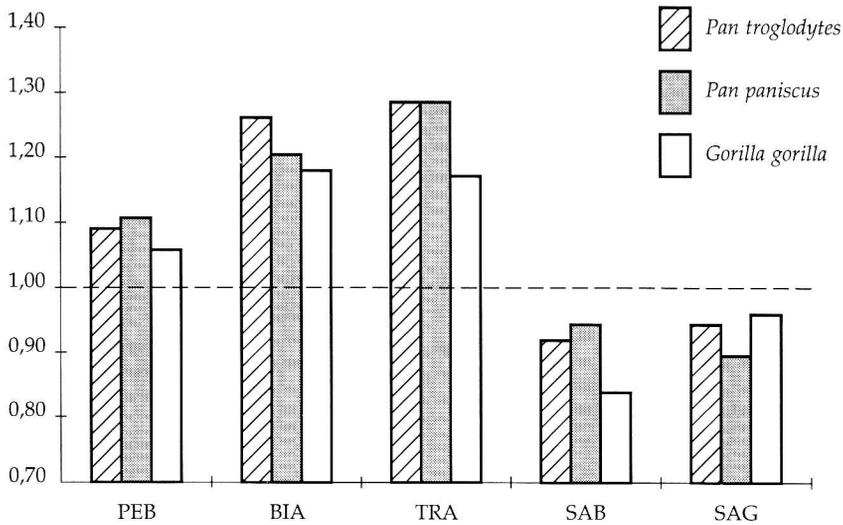


Fig. 3 : Comparaison des exposants d'allométrie de 5 dimensions du pelvis des pongidés africains. La valeur 1 correspond à l'isométrie.

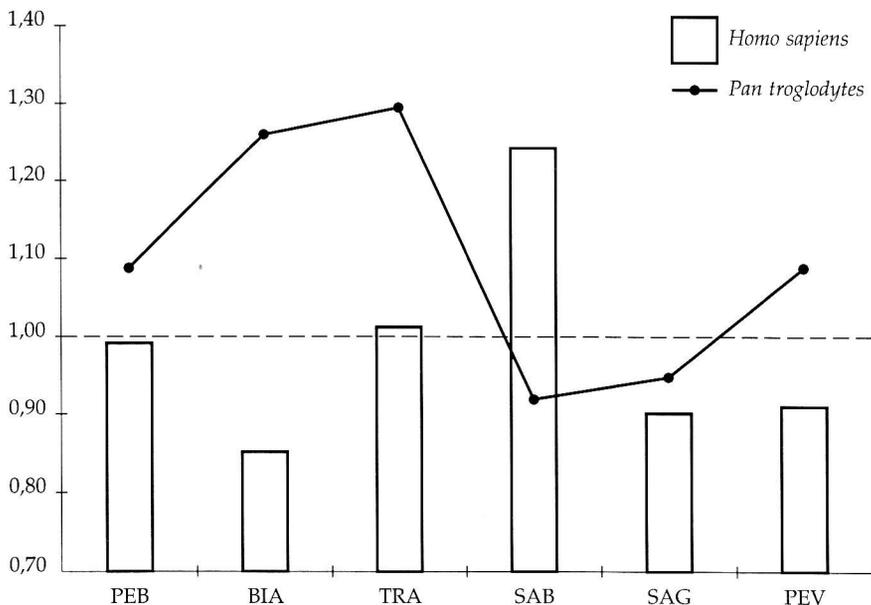


Fig. 4 : Comparaison des exposants d'allométrie de six dimensions du pelvis humain. On a reporté les exposants du chimpanzé commun pour mémoire (voir fig. 3). Chez le chimpanzé, PEV est la répétition de PEB. La valeur 1 correspond à l'isométrie.

de 0,84 (allométrie négative pour la largeur du sacrum du gorille) à 1,29 (allométrie fortement positive pour le diamètre transverse du détroit cranial pelvien des chimpanzés). Mais si ces variations sont fortes selon les dimensions pelviennes, en revanche les différences entre les trois espèces sont faibles, ce qui semble indiquer que le schéma de croissance est globalement le même pour les trois espèces. Le graphique montre que leur pelvis croît fortement en largeur, surtout au niveau de la cavité pelvienne (BIA, TRA), et aussi au niveau des ailes iliaques (PEB). En revanche, le sacrum devient proportionnellement étroit (SAB) et le détroit pelvien proportionnellement court (SAG).

humain croît surtout par sa région sacrée qui devient large (SAB) alors que la largeur maximale du pelvis au niveau des ailes iliaques (PEB) et au niveau de la cavité pelvienne (TRA) sont isométriques. De façon plus étonnante, le diamètre biacétabulaire qui mesure l'écart entre les articulations coxo-fémorales (BIA), ainsi que la largeur du pelvis entre les épines iliaques antéro-supérieures (PEV) diminuent proportionnellement à la taille du pelvis durant la croissance (allométries négatives).

b) Les allométries de l'os coxal

1. Pongidés africains

Les exposants d'allométrie de dix dimensions pelviennes correspondant aux proportions de l'os coxal des pongidés africains sont représentés figure 5. Les variations allométriques sont importantes dans les trois espèces, étant soit fortement positives, soit fortement négatives, soit encore proches de l'isométrie. En revanche, les différences observées entre les trois espèces semblent faibles, suggérant un même schéma de croissance pour les trois espèces de pongidés africains, compte tenu des fluctuations probablement dues à l'échantillonnage. Les changements de proportions durant la croissance concernent trois types de dimensions sur l'os coxal :

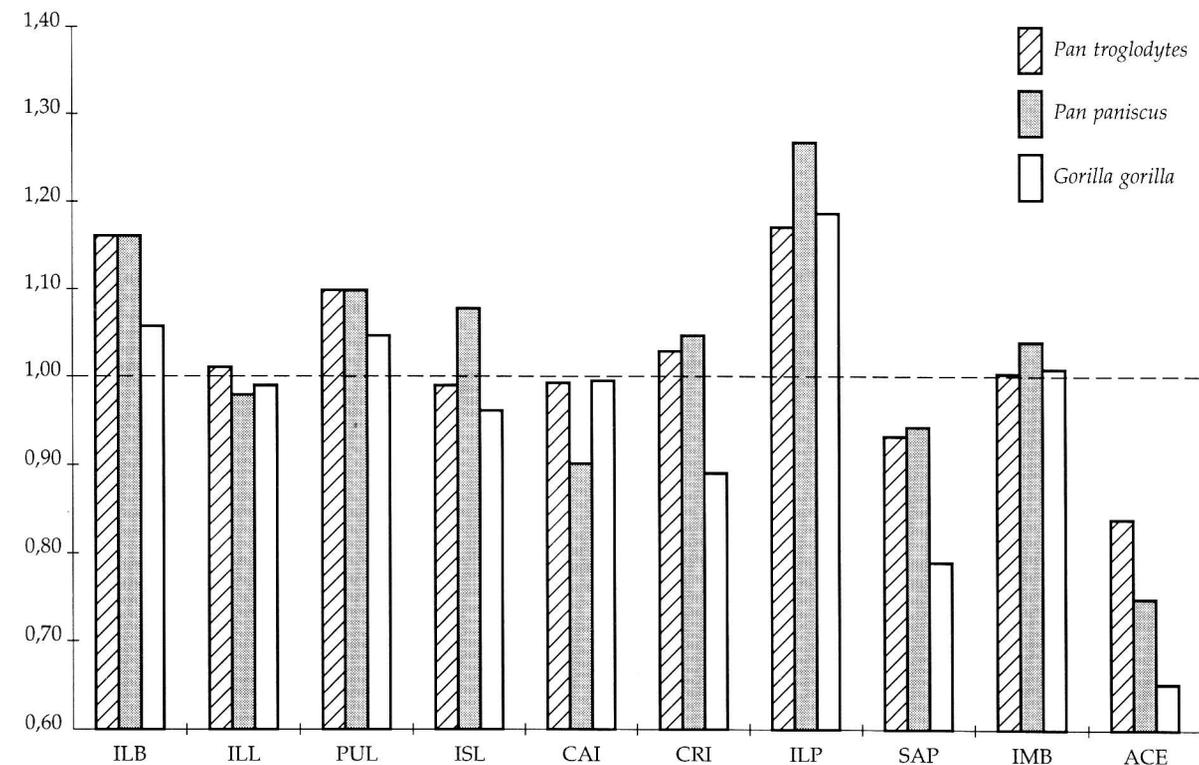


Fig. 5 : Comparaison des exposants d'allométrie de dix dimensions de l'os coxal des pongidés africains. La valeur 1 correspond à l'isométrie.

- (1) les longueurs des segments : l'ilion et l'ischion (ILL, ISL) restent relativement proportionnels à la longueur du pelvis (sauf l'ischion de *Pan paniscus* qui devient plus long), tandis que le pubis (PUL) tend à devenir proportionnellement long avec la croissance; l'ilion s'allonge surtout par son segment cranial (CRI) chez les chimpanzés, tandis que l'allométrie sur le segment caudal (CAI) est soit isométrique (*Pan troglodytes*, *Gorilla*), soit négative (*Pan paniscus*);
- (2) les largeurs sur l'ilion : l'ilion des pongidés africains devient proportionnellement large (*Gorilla*) et même très large (*Pan troglodytes*, *P. paniscus*) au cours de sa croissance (ILB), notamment dans sa partie latérale correspondant au plan iliaque (ILP); en revanche, la partie sacrée de l'ilion (SAP) devient proportionnellement étroite surtout chez le gorille;
- (3) les épaisseurs sur l'ilion : la largeur minimale de l'ilion, aussi nommée col de l'ilion (IMB), est isométrique, tandis que la taille de l'acétabulum (ACE) tend à diminuer proportionnellement à la taille du pelvis.

2. Homme

Les allométries de croissance du pelvis humain sont fondamentalement différentes de celles des pongidés, comme le montre la comparaison de l'Homme et du chimpanzé commun (fig. 6) :

- (1) les longueurs des segments : l'os coxal humain croît surtout par la longueur de son ischion (ISL), tandis que l'ilion et le pubis (ILL, PUL) diminuent proportionnellement de longueur durant la croissance; l'ilion devient en effet relativement court, notamment au niveau de son segment caudal (CAI), tandis que le segment cranial (CRI) reste isométrique;
- (2) les largeurs sur l'ilion : l'ilion humain devient sensiblement étroit (ILB) au cours de sa croissance; en effet, seule sa région sacrée au contact du sacrum (SAP) tend à devenir large, tandis que le plan iliaque de l'ilion (ILP) devient étroit; la dimension ILV montre en revanche une forte allométrie positive (la dimension est nulle chez le chimpanzé);
- (3) les épaisseurs : la largeur minimale de l'ilion humain (IMB) tend à devenir étroite, mais l'acétabulum (ACE) au contraire devient plus large.

3.2. Les courbes de croissance du pelvis humain

a) Croissance en longueur du pelvis

On compare (fig. 7) la croissance de trois longueurs pelviennes (PEL, ILL, CAI) placées, en valeurs absolues sur l'axe des ordonnées, par rapport à l'âge des individus en abscisses. Ces trois dimensions n'ont pas la même signification fonctionnelle. La longueur du pelvis (PEL) est en

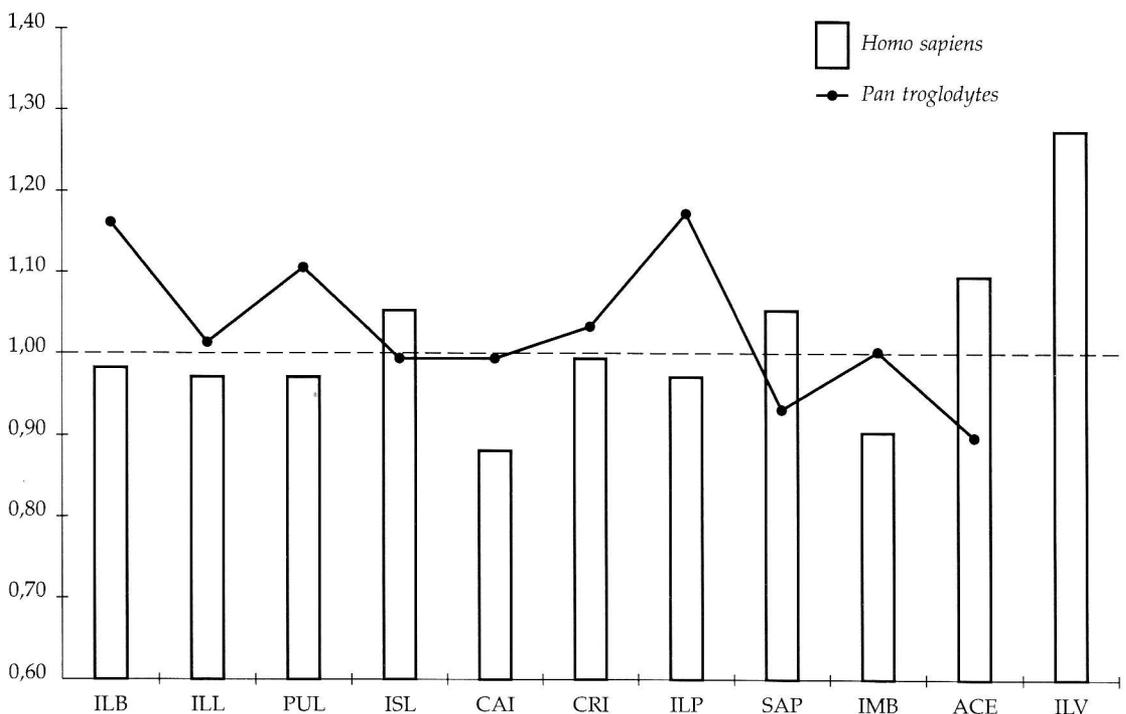


Fig. 6 : Comparaison des exposants d'allométrie de onze dimensions de l'os coxal humain. On a reporté les coefficients du chimpanzé commun pour mémoire (voir fig. 5). La dimension ILV est nulle sur le pelvis du chimpanzé. La valeur 1 correspond à l'isométrie.

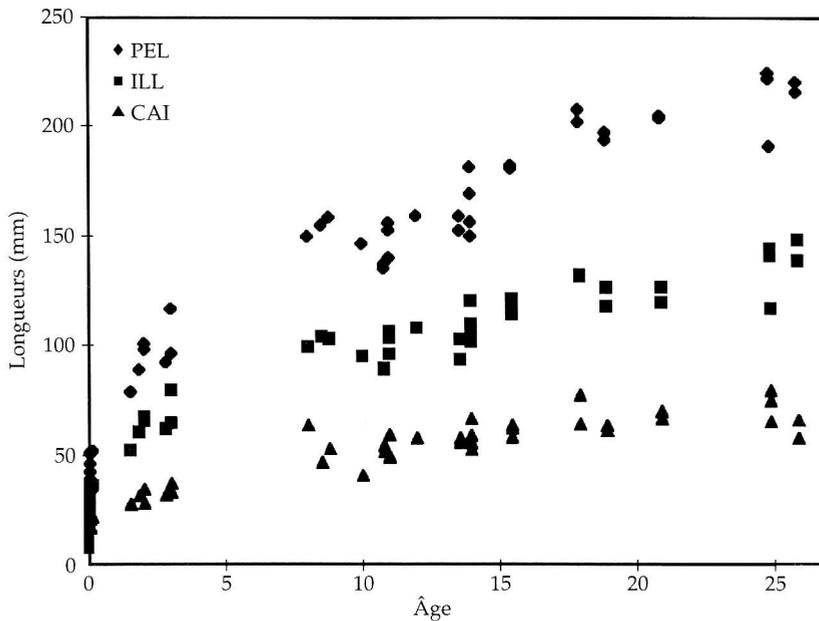


Fig. 7 : Les courbes de croissance de trois longueurs mesurées sur l'ilion humain. En ordonnées, les longueurs en mm. En abscisses, l'âge des individus avec une précision variable. PEL : longueur maximale du pelvis; ILL : longueur de l'ilion; CAI : longueur du segment caudal de l'ilion. Voir la définition des mesures tableau 1 et fig. 1.

réalité constituée de plusieurs segments fonctionnellement différents. Mais, prise globalement, la longueur PEL dessine une courbe assez comparable à celle de la stature décrite par Pineau (1991). C'est une courbe « en S » qui comprend trois parties : la première partie est une courbe régulière démarrant rapidement dans les deux premières années de la vie pour ralentir à partir de sept-huit ans. La seconde partie correspond au moment de la puberté. Durant cette période, le segment PEL n'augmente pratiquement pas de longueur, comme l'indique ici le plateau que l'on observe

entre dix et quinze ans. La troisième période est celle d'une reprise de la croissance de PEL qui augmente en longueur après la puberté. On note que la longueur du pelvis est nettement accrue durant cette dernière période, comme le montre l'écart de taille du pelvis entre un enfant de dix ans et un adulte de vingt ans et plus. La courbe de croissance de ILL est, en revanche, sensiblement plus aplatie que la précédente. On retrouve en effet la même courbe de croissance pour ILL que pour PEL jusqu'au moment de la puberté. Mais à la différence de cette dernière, la dimension

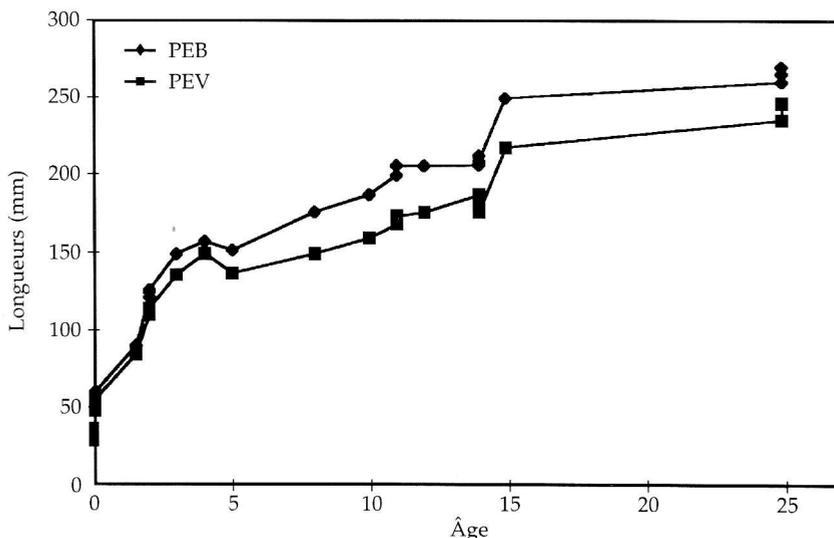


Fig. 8 : Les courbes de croissance des deux largeurs du pelvis humain. En ordonnées, les largeurs en mm. En abscisses, l'âge des individus avec une précision variable. PEB : largeur maximale du pelvis; PEV : largeur ventrale du pelvis. Voir la définition des mesures tableau 1 et fig. 1.

ILL ne croît pratiquement plus à partir de la puberté. La longueur ILL comprend en fait deux segments fonctionnellement différents. La partie craniale, dont la croissance n'est pas reportée sur ce graphe, est la partie libre de l'ilion située au dessus de l'articulation sacro-iliaque. La partie caudale, située entre l'articulation sacro-iliaque et l'articulation coxo-fémorale, est au contraire fortement contrainte par le poids corporel transmis du tronc au membre inférieur. La croissance de ILL trouve son explication dans la courbe de croissance de son segment caudal (CAI) qui est pratiquement plate. Dès l'âge de huit ans, ce segment n'augmente pratiquement plus en longueur.

b) Croissance en largeur du pelvis

Les courbes de croissances des deux largeurs du pelvis humain (PEB, PEV) sont comparées l'une à l'autre (fig. 8). Pour plus de clarté, on a représenté seulement 23 individus d'âges différents sur ce graphe. On peut noter que l'écart entre ces deux dimensions pour chaque individu varie au cours du temps. Cet écart s'explique par la forme incurvée que prend l'aile iliaque humaine durant sa croissance, ce qui tend à rapprocher l'une de l'autre les épines iliaques antéro-supérieures (PEV décroît proportionnellement à PEB). Chez le fœtus, l'écart est nul car les deux dimensions sont confondues. L'écart est encore très faible au moment de la

naissance et jusqu'à l'âge de deux ans. Il s'accroît ensuite vers l'âge de trois ans environ. Cet écart reste constant de l'âge de huit ans jusqu'à l'âge adulte. Ceci signifie que la forme incurvée de l'aile iliaque est achevée vers l'âge de huit ans environ, même si les deux dimensions continuent à croître après cet âge.

c) Croissance en largeur de l'ilion

Les trois dimensions transversales de l'ilion (ILB, ILP, ILV) sont reportées en valeurs absolues sur l'axe des ordonnées par rapport à l'âge des individus en abscisses (fig. 9). Les trois dimensions n'ont pas la même signification fonctionnelle. ILB est la largeur maximale de l'ilion correspondant à la largeur totale du plan glutéal sur la face externe de l'ilion. ILP est sa partie latérale (ou ventro-latérale chez l'adulte), correspondant, sur la face interne, au plan iliaque de l'ilion. ILV est la petite portion de l'ilion qui se recourbe vers l'avant. Elle est comprise entre l'épine iliaque antéro-supérieure et le tubercule fessier (fig. 1).

La courbe de croissance de ILB est assez semblable à celle de la longueur du pelvis décrite plus haut. On observe que ILB croît rapidement avant dix ans, puis se ralentit entre dix et quatorze ans, pour croître ensuite assez rapidement. En conséquence, la largeur de l'ilion s'accroît d'une façon importante après la puberté, comme le montre très nettement la différence de largeur d'ilion entre un enfant de dix ans et un adulte

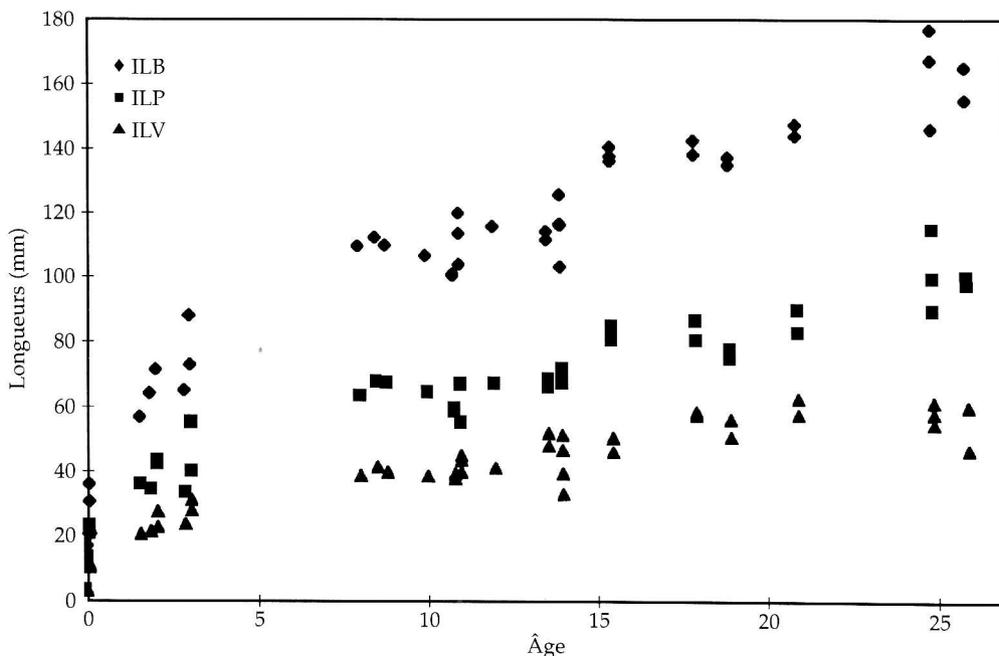


Fig. 9 : Les courbes de croissance de trois largeurs prises sur l'ilion humain. En ordonnées, les longueurs en mm. En abscisses, l'âge des individus avec une précision variable. ILB : largeur maximale de l'ilion; ILP : largeur du plan iliaque de l'ilion; ILV : largeur ventrale de l'ilion. Voir la définition des mesures tableau 1 et fig. 1.

d'environ vingt cinq ans. Il en est pratiquement de même pour la largeur totale du plan iliaque (ILP) qui suit à peu près la même courbe. Le plan iliaque de l'ilion (ILP) occupe, à la naissance, pratiquement toute la largeur de l'ilion (ILP et ILB sont presque confondues), pour ensuite se développer avec une vitesse moindre (l'ilion croît aussi par sa partie sacrée), comme le montre l'écart entre ces deux dimensions. En revanche, la largeur ILV montre une tout autre croissance, car elle débute avec une valeur nulle chez les fœtus. La courbe démarre par une verticale au moment de la naissance avec l'apparition du tubercule fessier, puis se poursuit par une croissance assez rapide jusqu'à l'âge d'environ huit ou dix ans. Mais contrairement aux deux courbes précédentes, la largeur ILV ne croît pratiquement plus après cet âge.

4. DISCUSSION

Les résultats de cette étude mettent en évidence l'originalité des modifications de proportions et de forme du pelvis humain au cours de sa croissance. Cette originalité tient d'une part aux allométries de croissance qui montrent que les vitesses de croissance des différentes régions pelviennes sont clairement différentes chez l'Homme comparé aux pongidés africains. D'autre part, elle concerne aussi les courbes de croissance qui montrent que les proportions pelviennes spécifiques à l'Homme sont acquises à différents âges.

4.1. Originalité des allométries du pelvis humain

Chez les pongidés africains, la croissance s'accompagne d'une augmentation plus importante des dimensions transversales que des dimensions longitudinales du pelvis et de l'os coxal (à l'exception toutefois des dimensions sacrées, réduites chez ces formes arboricoles). Le pelvis devient large au niveau des ailes iliaques, ainsi qu'au niveau de la cavité pelvienne; l'ilion s'élargit en éventail au niveau du plan iliaque. Il est à noter que les allométries de croissance sont assez proches des allométries de taille observées entre adultes d'une même espèce (Berge, 1991). Ce type d'allométrie, observable chez la plupart des mammifères, est l'illustration parfaite des théories de Galilée qui, en 1638, démontrait que

l'accroissement de la taille des individus, dans un groupe donné, s'accompagne nécessairement d'un accroissement non linéaire de la masse musculaire chargée d'équilibrer le poids corporel. Dans le cas précis du pelvis, il s'agit de la masse des muscles du tronc et de la cuisse s'insérant largement sur les faces externe et interne de l'ilion ainsi que sur la crête iliaque.

Or, cette règle générale n'est pas applicable à l'espèce humaine. La présente étude montre clairement que le pelvis humain, soit conserve les mêmes proportions transversales (PEB, TRA), soit devient proportionnellement étroit (BIA, PEV), lorsqu'il augmente de taille (c'est-à-dire de longueur). Ces mêmes tendances allométriques peuvent être observées au sein d'une population, entre adultes de taille différente (Berge, 1991). On peut interpréter les allométries de croissance du pelvis humain en termes fonctionnels. Au cours de l'ontogenèse, les changements de proportions conduisent le pelvis à devenir plus robuste au niveau des articulations, avec des distances inter-articulaires proportionnellement plus courtes sous l'effet des contraintes pondérales. Lorsque la taille du pelvis augmente, la réduction relative de la distance entre les deux épines iliaques antéro-supérieures (PEV) a aussi pour conséquence d'amener l'aile iliaque dans un plan presque parasagittal, favorisant ainsi les mouvements de la marche (Berge, 1993).

4.2. Acquisition des caractères pelviens spécifiquement humains durant la croissance

Un certain nombre de caractères pelviens essentiels, comme la brièveté du segment caudal de l'ilion (CAI), la grande largeur de la région sacrée (largeur du plan sacré de l'ilion, largeur du sacrum) sont acquis très tôt dans l'ontogenèse humaine comme le montre la morphologie du pelvis du fœtus de cinq mois et demi (fig. 2B). Néanmoins ce pelvis a conservé quelques traits rappelant la morphologie des primates non-humains, comme le développement latéral des ailes iliaques, et l'absence de fosse iliaque interne. Les caractères pelviens acquis plus tardivement concernent le changement de forme et d'orientation de l'aile iliaque et par voie de conséquence les proportions transversales du pelvis. L'observation de la morphologie pelvienne et les courbes de croissance montrent que ces changements morphologiques sont acquis successivement au cours de la croissance.

(1) Au moment de la naissance, le pelvis commence à changer de forme et de proportions (fig. 2C) : la cavité pelvienne devient proportionnellement un peu plus étroite, les ailes iliaques de transversales deviennent obliques, avec l'amorce d'une fosse iliaque interne. Ce changement de forme est la conséquence d'un caractère nouveau, apparu sur la face externe de l'ilion, le pilier iliaque se terminant au niveau de la crête iliaque par le tubercule fessier. On note que chez le nouveau-né, le tubercule fessier est situé près de l'épine iliaque antéro-supérieure (voir aussi, Berge, 1996). Les courbes de croissances montrent néanmoins, qu'au moment de la naissance, la largeur ventrale du pelvis (PEB) est à peine différente de la largeur maximale (PEV) et qu'il n'y a pas à proprement parler, à cet âge, de partie ventrale de l'ilion (ILV).

(2) Avec la pratique de la bipédie, les ailes iliaques deviennent plus incurvées. La dimension PEV, distance entre les épines iliaques antéro-supérieures, devient plus courte que la dimension PEB, située entre les tubercules fessiers. La partie ventrale de l'ilion (ILV) devient plus longue. À l'âge de huit ans environ, la forme caractéristique du pelvis humain est pratiquement achevée comme le montre l'écart entre les dimensions PEB et PEV sur le pelvis d'un enfant de huit ans, qui est le même que celui d'un adulte; ou encore la longueur du segment ILV qui est aussi la même que sur l'ilion d'un adulte, bien que le pelvis soit plus petit.

(3) Durant la période post-pubertaire, le pelvis croît en longueur et en largeur. Rappelons que la croissance post-pubertaire est une caractéristique humaine qui permet l'augmentation à la fois de la stature et du poids corporel (Bogin, 1988; Pineau, 1991). La présente étude montre que certains segments pelviens cessent de croître vers l'âge de huit ans, tandis que d'autres, comme la longueur et la largeur du pelvis (PEL, PEB), continuent de croître après la puberté, jusqu'à la fin de la croissance qui est située ici à 16 ans chez les filles et 21 ans chez les garçons. De cette croissance post-pubertaire résulte un changement tardif de la taille et des proportions du pelvis, changement que l'on peut rapprocher de ceux du membre inférieur. C'est à cette période en effet, que le membre inférieur s'allonge. Il est évident que les changements de proportions corporelles résultant de l'allongement du temps de croissance chez l'Homme, ont leur importance car ils correspondent à l'acquisition d'une bipédie plus performante, notamment dans la course.

5. CONCLUSIONS

Cette étude a montré que les caractères formés au moment de la naissance, comme le tubercule fessier (ou le pilier iliaque si l'on considère l'ensemble du relief osseux), l'amorce de la fosse iliaque interne, préfigurent les changements de forme et de proportions qui vont se mettre réellement en place avec l'apprentissage de la marche. C'est dans la période allant de l'âge de trois ans à l'âge de huit ans environ que le pelvis humain acquiert l'essentiel de sa forme caractéristique, comme par exemple, la forme incurvée de l'aile iliaque et son orientation presque parasagittale. C'est aussi durant cette même période que les différents segments de la chaîne articulaire acquièrent leurs positions respectives, comme le montre l'orientation oblique de la diaphyse fémorale acquise durant cette période (Tardieu et Trinkaus, 1994). Tardieu et Trinkaus (1994) suggèrent que les orientations des segments du membre inférieur se mettent en place sous l'effet des contraintes de la gravité terrestre au moment où l'enfant se met debout. En fait, l'étude du pelvis montre que certaines de ces orientations sont génétiquement déterminées, puisque l'aile iliaque commence à changer d'orientation (avec l'apparition du tubercule fessier) bien avant la pratique de la marche, au moment de la naissance.

Remerciements

Je remercie les professeurs responsables des collections, pour m'avoir autorisée à étudier le matériel : M. J.-P. Lassau, pour le matériel de la collection Orfila; M. D. Thys van den Audenaerde pour le matériel du Musée royal de l'Afrique centrale à Tervuren, et MM. J. Repérant et A. Langaney pour le matériel du Laboratoire d'Anatomie Comparée et du Laboratoire d'Anthropologie du Muséum National d'Histoire Naturelle. Cette recherche a été financée par l'URA 11 37 du C.N.R.S.

Bibliographie

- BARHAM, W. W., 1971. A longitudinal study of the growth of a chimpanzee bony pelvis. *Proc. 3rd Congr. Primat. Zürich, 1970*, 1 : 169-175.
- BERGE, Ch., 1991. Size and locomotion-related aspects of hominid and anthropoid pelvis: An osteometrical multivariate approach. *Hum. Evol.*, 6 : 365-376.
- BERGE, Ch., 1993. *L'Évolution de la hanche et du pelvis des hominidés. Bipédie, parturition, croissance, allométrie*. Cahiers de Paléanthropologie, Éditions du C.N.R.S., Paris, 110 p.
- BERGE, Ch., 1996. Evolution and growth of the hominid pelvis: A preliminary study of the

- ilium shape by the thin-plate spline. In : L.F. Marcus, M. Corti, A. Loy, G. Naylor & D.E. Slice (éd.) : *Advances in Morphometrics*. Chicago, Plenum Publ. Corp. : 441-448.
- BOGIN, B., 1988. *Patterns of human growth*. Cambridge, Cambridge University Press, 267 p.
- BRUZEK, J., 1992. Fiabilité des fonctions discriminantes dans la détermination sexuelle de l'os coxal. Critiques et propositions. *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris*, 1-2 : 67-104.
- BRUZEK, J. & NOVOTNY, V., 1993. Diagnostic auxologique de l'os coxal des enfants de Sungir 2 et 3 (Paléolithique supérieur, Russie). *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris*, 5 (1-2) : 151-158.
- COLEMAN, H., 1971. Comparison of the pelvis growth patterns of chimpanzee and Man. *Proc. 3rd Congr. Primat. Zürich, 1970*, 1 : 176-182.
- GALILÉE, G., 1636 (trad. 1970). *Discours et démonstrations mathématiques concernant deux sciences nouvelles*. Introduction, traduction et notes de M. Clavecin. Paris, Armand Colin.
- HUXLEY, J.S., 1932. *Problems of relative growth*. London, Mac Veagh, 276 p.
- HUXLEY, J.S. & TEISSIER, G., 1936. Terminology of relative growth. *Nature*, 137 : 780-781.
- MAJÓ, T., TILLIER, A.-M., et BRUZEK, J., 1993. Tests des fonctions discriminantes de Schutkowski impliquant l'ilium pour la détermination du sexe dans des séries d'enfants de sexe et d'âge connus. *Bull. Mém. Soc. Anthropol. Paris*, 5 (1-2) : 61-68.
- PINEAU, H., 1991. La croissance et ses lois. *Cahiers d'Anthropologie et Biométrie Humaine*, 9 (1-2/3-4) : 1-307.
- TEISSIER, G., 1948. La relation d'allométrie, sa signification statistique et biologique. *Biometrics*, 4 : 14-49.
- TEISSIER, G., 1955. Allométrie de taille et variabilité chez *Maia squinado*. *Arch. Zool. Exp. Gén.*, 92 : 14-56.
- TARDIEU, Ch., et TRINKAUS, E., 1994. Early ontogeny of the human femoral bicondylar angle. *Am. J. phys. Anthropol.*, 95 : 183-195.

Adresse de l'auteur :

Ch. BERGE
 URA 11 37, C.N.R.S.
 Laboratoire d'Anatomie Comparée, MNHN
 55, rue Buffon
 F-75005 Paris (France)