

**Direction des bibliothèques**

**AVIS**

Ce document a été numérisé par la Division de la gestion des documents et des archives de l'Université de Montréal.

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

**NOTICE**

This document was digitized by the Records Management & Archives Division of Université de Montréal.

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

Asymétrie et courbures de la clavicule chez l'humain et les grands singes

par  
Claude Richer

Département d'Anthropologie  
Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de M.Sc. en Anthropologie

Septembre 2008

© Claude Richer, 2008



Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :  
Asymétrie et courbures de la clavicule chez l'humain et les grands singes

Présenté par :  
Claude Richer

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Isabelle Ribot  
présidente-rapporteuse

Michelle Drapeau  
directrice de recherche

Bernard Chapais  
membre du jury

## RÉSUMÉ

Plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer chez l'humain la symétrie croisée, celle-ci étant que les os du bras du côté dominant sont plus longs que ceux de l'autre côté, mais que c'est la clavicule du côté non dominant qui est la plus longue. Cette étude tente de déterminer s'il y a présence de symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant chez les grands singes africains, comme c'est le cas chez l'humain. L'étude tente aussi de déterminer si les courbures de la clavicule influencent la longueur maximale de celle-ci chez l'humain, le chimpanzé et le gorille. Les mesures et tests statistiques ont été effectués sur les adultes d'un échantillon humain, d'un échantillon de chimpanzés et d'un de gorilles. Les courbures des clavicles ont été mesurées selon la méthode d'Olivier (1951). Les résultats révèlent que chez l'humain, plus la courbure latérale de la clavicule est arquée relativement au côté opposé, plus la longueur maximale de cette même clavicule est réduite par rapport à la clavicule du côté opposé. La clavicule la plus courbée est habituellement à droite et c'est probablement ce qui explique la symétrie croisée entre la clavicule gauche et le membre supérieur droit chez l'humain. Les résultats révèlent aussi que l'insertion du deltoïde a tendance à influencer la différence droite-gauche dans la courbure latérale de la clavicule chez l'humain puisque sa variabilité de forme et de grosseur altérerait la courbure latérale réelle. Les grands singes, quant à eux, ne présentent pas de symétrie croisée et les courbures de leur clavicule n'ont pas d'effet sur sa longueur.

Mots-clé: symétrie croisée, clavicule, membre supérieur, courbure, latéralité, asymétrie

## ABSTRACT

Several hypotheses have been proposed to explain the occurrence of human crossed symmetry, that is to say that the dominant upper limb bones are longer than the same bones of the opposite side but that it is the clavicle of the non dominant side that is longer than the other one. This study tests whether African great apes are similar to humans in crossed symmetry of clavicular and upper limb lengths. This study is also trying to determine if curvatures of the clavicle affect its maximal length in humans, chimpanzees and gorillas. The measurements and statistical tests have been done on adults of a sample of humans, one of chimpanzees and one of gorillas. The clavicle curvatures have been measured according to Olivier's method (1951). The results demonstrate that in humans, greater lateral curvature of the clavicle on one side corresponds to a relatively shorter length of that same clavicle. In humans, the right clavicle is the one usually more curved and shorter. This fact could explain the length crossed symmetry between the left clavicle and the right dominant upper limb in humans. The results also revealed that the deltoid insertion has a tendency to influence the right-left differences of lateral curvature of the clavicle in humans because its shape and size variability could hide the real lateral curvature. This analysis did not show any crossed symmetry or any influence of the curvatures on the maximal length of the clavicle in great apes.

Keywords: crossed symmetry, clavicle, upper limb, curvature, laterality, asymmetry

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>ix</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>x</b>
<b>I. INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>II. CADRE CONCEPTUEL DE LA RECHERCHE</b> .....	<b>4</b>
2.1 L'asymétrie des os du membre supérieur .....	4
2.2 La morphologie fonctionnelle de la clavicule .....	6
2.3 L'asymétrie de la clavicule .....	9
2.4 L'insertion du deltoïde .....	12
<b>III. PROBLÉMATIQUES ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE</b> .....	<b>14</b>
3.1 Problématiques de recherche .....	14
3.2 Hypothèses de recherche .....	14
<b>IV. MÉTHODE DE RECHERCHE</b> .....	<b>17</b>
4.1 Description du matériel de recherche .....	17
4.2 Longueurs maximales .....	17
4.3 Mesure des courbures de la clavicule à partir de photographies numériques .....	18
4.4 Détermination de l'asymétrie et analyses statistiques .....	21
<b>V. RÉSULTATS</b> .....	<b>24</b>
5.1 L'asymétrie de longueur du membre supérieur chez l'humain .....	24
5.1.1 L'asymétrie de la clavicule chez l'humain .....	24
5.1.2 Détermination du côté dominant chez l'humain .....	25

5.1.3 La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur chez l'humain .....	26
5.2 L'asymétrie de longueur du membre supérieur chez le chimpanzé .....	27
5.2.1 L'asymétrie de la clavicule chez le chimpanzé .....	26
5.2.2 Détermination du côté dominant chez le chimpanzé .....	27
5.2.3 La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur chez le chimpanzé .....	28
5.3 L'asymétrie de longueur du membre supérieur chez le gorille .....	28
5.3.1 L'asymétrie de la clavicule chez le gorille .....	29
5.3.2 Détermination du côté dominant chez le gorille .....	29
5.3.3 La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur chez le gorille .....	30
5.4 L'influence de l'insertion du deltoïde sur la différence de courbure latérale de la clavicule .....	30
5.5 L'influence des courbures horizontales sur la longueur maximale de la clavicule .....	31
5.5.1 L'influence des courbures horizontales sur la longueur maximale de la clavicule chez l'humain .....	31
5.5.2 L'influence des courbures horizontales sur la longueur maximale de la clavicule chez le chimpanzé .....	35
5.5.3 L'influence des courbures horizontales sur la longueur maximale de la clavicule chez le gorille .....	37
<b>VI. DISCUSSION .....</b>	<b>40</b>
<b>VII. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>49</b>
<b>ANNEXE I .....</b>	<b>xi</b>
a) Tableau XVIII. Comparaison des espèces: statistiques descriptives des os longs du membre supérieur .....	xi
b) Tableau XIX. Comparaison des espèces : statistiques descriptives des courbures de la clavicule .....	xi

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.</b> Statistiques descriptives des os longs du membre supérieur de l'échantillon humain .....	24
<b>Tableau II.</b> Répartition de l'asymétrie de longueur maximale du membre supérieur de l'échantillon humain (%) .....	25
<b>Tableau III.</b> Présence et latéralité d'un côté dominant pour le membre supérieur de l'échantillon humain .....	26
<b>Tableau IV.</b> Statistiques descriptives des os longs du membre supérieur de l'échantillon de chimpanzés .....	27
<b>Tableau V.</b> Répartition de l'asymétrie de longueur maximale du membre supérieur de l'échantillon de chimpanzés (%) .....	28
<b>Tableau VI.</b> Statistiques descriptives des os longs du membre supérieur de l'échantillon de gorilles .....	29
<b>Tableau VII.</b> Répartition de l'asymétrie de longueur maximale du membre supérieur de l'échantillon de gorilles .....	29
<b>Tableau VIII.</b> Test de t comparant la différence de courbure latérale originale et la différence de courbure latérale sans deltoïde .....	31
<b>Tableau IX.</b> Statistiques descriptives des courbures de la clavicule de l'échantillon humain .....	32
<b>Tableau X.</b> Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale de la clavicule chez l'humain .....	33
<b>Tableau XI.</b> Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale chez l'humain .....	34
<b>Tableau XII.</b> Statistiques descriptives des courbures de la clavicule de l'échantillon de chimpanzés .....	35
<b>Tableau XIII.</b> Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale chez le chimpanzé .....	36
<b>Tableau XIV.</b> Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale chez le chimpanzé .....	37
<b>Tableau XV.</b> Statistiques descriptives des courbures de la clavicule	



de l'échantillon de gorilles .....	37
<b>Tableau XVI.</b> Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale chez le gorille .....	38
<b>Tableau XVII.</b> Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale chez le gorille .....	39
<b>Tableau XVIII.</b> Comparaison des espèces : statistiques descriptives des os longs du membre supérieur .....	xi
<b>Tableau XIX.</b> Comparaison des espèces : statistiques descriptives des courbures de la clavicule .....	xi

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1.</b> Clavicule droite en vue supérieure (image modifiée de White & Folkens, 2000) .....	6
<b>Figure 2.</b> Méthode de mesure des courbures de la clavicule de Mays <i>et al.</i> (1999, image modifiée) .....	11
<b>Figure 3.</b> Technique de mesure des courbures de la clavicule (modifié de Olivier, 1951). Clavicule gauche en vue supérieure .....	19
<b>Figure 4.</b> Mesure des courbures originales et sans deltoïde. Clavicule gauche en vue supérieure .....	20
<b>Figure 5.</b> Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale de la clavicule chez l'humain : A) courbure médiale originale, B) courbure médiale sans deltoïde .....	32
<b>Figure 6.</b> Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale de la clavicule chez l'humain : A) courbure latérale originale, B) courbure latérale sans deltoïde .....	33
<b>Figure 7.</b> Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale de la clavicule chez le chimpanzé : A) courbure médiale originale, B) courbure médiale sans deltoïde .....	36
<b>Figure 8.</b> Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale de la clavicule chez le chimpanzé : A) courbure latérale originale, B) courbure latérale sans deltoïde .....	37
<b>Figure 9.</b> Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale de la clavicule chez le gorille : A) courbure médiale originale, B) courbure médiale sans deltoïde .....	38
<b>Figure 10.</b> Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale de la clavicule chez le gorille : A) courbure latérale originale, B) courbure latérale sans deltoïde .....	38

## REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier ma directrice de recherche, Dr. Michelle Drapeau, pour son soutien et sa disponibilité. Je remercie aussi Dr. Jerome Cybulski, le Musée Canadien des Civilisations, le Inuit Heritage Trust et le Museum of Natural History de Cleveland de m'avoir permis d'utiliser leurs collections pour ma collecte de données. Je veux aussi remercier ma collègue, Marie-Christine Berthiaume, pour son aide tout au long de la réalisation de ce projet, mon conjoint François et mes parents Andrée et Gilles pour leur soutien, leur patience et leur compréhension.

## I. INTRODUCTION

La clavicule a été peu étudiée contrairement aux autres os longs du membre supérieur. Pourtant, elle fait partie d'une articulation importante, l'épaule, qui permet au bras de faire des mouvements de grande amplitude. Chez l'humain (*Homo sapiens sapiens*), la clavicule est d'une grande importance pour la manipulation et, chez les primates, elle joue un rôle primordial dans les divers modes de locomotion, soit la brachiation et la quadrupédie terrestre ou arboricole.

Les premières études portant sur la clavicule visaient surtout à trouver des différences entre les groupes humains (Parsons, 1916; Terry, 1932; Schultz, 1937; Olivier, 1951-1957). Plus exactement, il s'agissait surtout d'études sur le membre supérieur où l'on exposait tous les ratios et index possibles entre les différents os. Ce genre d'étude a permis de tirer plusieurs conclusions qui sont maintenant bien établies. Notamment, il a été confirmé que chez la majorité des individus, soit environ 90%, les os longs du côté droit sont plus longs et plus robustes que ceux du côté gauche. Cette asymétrie a été expliquée par la latéralité du côté droit chez le même pourcentage d'individus. En effet, environ neuf humains sur dix se servent plus de leur côté droit que de leur côté gauche et il a été démontré que plus il y a de charges appliquées sur un os, plus celui-ci a tendance à être long et robuste pour supporter ces charges (Collins, 1961; Jones, 1977). Le contraire est aussi vrai : lorsque la latéralité est du côté gauche, les os longs de ce côté sont plus longs et plus robustes. Ce principe s'applique à la majorité des os longs dont les trois os du bras et de l'avant-bras, c'est-à-dire l'humérus, le radius et l'ulna.

Cependant, la clavicule ne suit pas ces règles. C'est la clavicule gauche qui est plus longue que la droite dans la majorité des cas (Parsons, 1916; Schultz, 1937; Olivier 1951; Ray, 1959; Mays *et al.*, 1999; Auerbach & Raxter, 2008). Lorsque les os du bras droit sont plus longs, c'est la clavicule gauche qui est la plus longue et vice versa. C'est ce qu'on appellera dans ce texte, conformément à la littérature actuelle, de la symétrie croisée. Cependant, il faut préciser que la clavicule droite reste la plus robuste même si elle est plus courte.

Plusieurs hypothèses ont été suggérées pour expliquer cette symétrie croisée. Elles seront survolées dans le cadre conceptuel de ce mémoire.

Les courbures de la clavicule chez les primates ont été bien étudiées par Voisin (2006). Celui-ci a démontré que le mode de locomotion utilisé contribuait à des types de courbure différents, notamment entre le chimpanzé (*Pan troglodytes*) et le gorille (*Gorilla gorilla*).

Il avait déjà été établi que, tout comme chez l'humain, le membre supérieur chez les grands singes présente un côté dominant (Schultz, 1937). Cependant, au niveau populationnel, cette asymétrie ne serait pas distribuée majoritairement d'un côté comme chez l'humain, mais plus ou moins également entre les côtés droit et gauche. Aussi, aucun patron d'asymétrie par rapport à la clavicule n'a été étudié.

Ce mémoire a pour but de déterminer s'il existe une asymétrie de la clavicule associée à l'asymétrie du membre supérieur chez les grands singes africains. Un autre

but de cette étude est de déterminer si les courbures de la clavicule influencent le patron d'asymétrie de longueur de celle-ci et ce, peu importe l'espèce étudiée. Pour ce faire, la longueur de la clavicule ainsi que les courbures médiale et latérale de la clavicule seront mesurées. Deux méthodes différentes seront utilisées pour mesurer les courbures. La première méthode mesurera les courbures telles quelles, sans modification. La deuxième écartera l'insertion du deltoïde de la mesure de la courbure latérale. Ceci permettra de mesurer la véritable courbure latérale de la clavicule, sans que l'insertion du deltoïde, variable en forme et en grosseur, vienne influencer cette mesure. Cette étape aidera peut-être à éclairer le phénomène de la symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant.

Les mêmes analyses que pour les humains seront effectuées sur les échantillons de chimpanzés et de gorilles. Les patrons d'asymétrie de longueur et de symétrie croisée ainsi que les résultats de l'influence des courbures de la clavicule sur sa longueur maximale chez les grands singes pourront servir de points de comparaison pour les résultats obtenus chez les humains.

Grâce à ces comparaisons, ce mémoire permettra de déterminer si le reflet de la latéralisation dans la clavicule chez l'humain est semblable à celle chez les grands singes.

## II. CADRE CONCEPTUEL DE RECHERCHE

### 2.1 L'asymétrie des os du membre supérieur

Dès 1937, Schultz a publié une étude sur l'asymétrie des os longs chez les humains et chez les primates. Depuis, plusieurs études sont venues confirmer la présence d'une asymétrie, notamment des os longs du membre supérieur (Collin, 1969; Jones, 1977; Schulter-Ellis, 1980; Stirland, 1993; Trinkaus *et al.*, 1994, Huggare & Houghton, 1995; Steele & Mays, 1995; Auerbach & Ruff, 2006; Auerbach & Raxter, 2008). Cette asymétrie se manifeste par des os plus longs et plus robustes, majoritairement du côté droit chez l'humain. En étant plus robustes, les os longs peuvent mieux résister aux charges mécaniques qui leur sont imposées, comme la tension, la torsion, la compression, le cisaillement (« shear »), le pliage (« bending ») et toutes ces forces combinées (Frankel & Nordin, 2001). Comme ces forces sont présentes à tout moment, elles ont une influence sur la biologie de l'os et notamment sur l'os endochondral pendant le développement (Arkin & Katz, 1956) et aussi après puisque l'os est en constant remodelage. Donc, les activités que nous, les humains, effectuons chaque jour agissent sur notre squelette. Si les activités quotidiennes sont exécutées plus souvent d'un côté du corps que de l'autre, les forces sont réparties inégalement de ce côté. Les os réagissent alors à de telles forces et se remodelent pour leur résister. Il est donc généralement possible de déterminer la latéralité d'un individu (s'il est droitier ou gaucher) en analysant ses os (Schulter-Ellis, 1980). La plupart des humains présentent une asymétrie favorisant le côté droit. Aussi, la plupart des humains sont droitiers et effectuent donc la majorité de leurs activités en utilisant leur côté droit. Ce phénomène pourrait être expliqué par le fait

que l'hémisphère gauche du cerveau est plus gros chez la majorité de la population humaine. La motricité est contrôlée surtout par les lobes frontaux des hémisphères droit et gauche (Etcharry, 1999). Comme les mouvements d'un côté du corps sont contrôlés par l'hémisphère du cerveau du côté opposé, les droitiers auraient un hémisphère gauche plus développé et vice versa (White *et al.*, 1994). Une hypothèse proposée par Von Bonin (1962) suggère que la vascularisation du côté gauche est favorisée pour les structures paires du corps humain pendant le développement fœtal. Les hémisphères du cerveau, étant des structures paires, seraient donc eux aussi touchés par ce phénomène, d'où l'hémisphère gauche plus gros que le droit et toutes les conséquences qui s'en suivent.

La latéralité est aussi présente chez les primates, notamment chez les grands singes. Hopkins et Morris (1993) ont fait une revue de littérature sur le sujet et ils ont conclu qu'il y avait présence de latéralité chez les chimpanzés et les gorilles. Cependant, celle-ci n'est pas systématiquement d'un côté comme c'est le cas chez l'humain. Les grands singes auraient plutôt une préférence pour un côté selon le type d'activité effectuée. Par exemple, une préférence pour le côté gauche serait présente au niveau de la population pour les activités de transport, alors que le côté droit serait favorisé pour la manipulation des objets et pour le membre meneur (« leading limb ») dans la locomotion.

Comme Schultz (1937) l'avait constaté, une asymétrie de longueur est aussi présente chez les grands singes. Cependant, cette asymétrie n'est pas concentrée d'un côté comme c'est le cas chez l'humain. Elle est plutôt répartie individuellement,

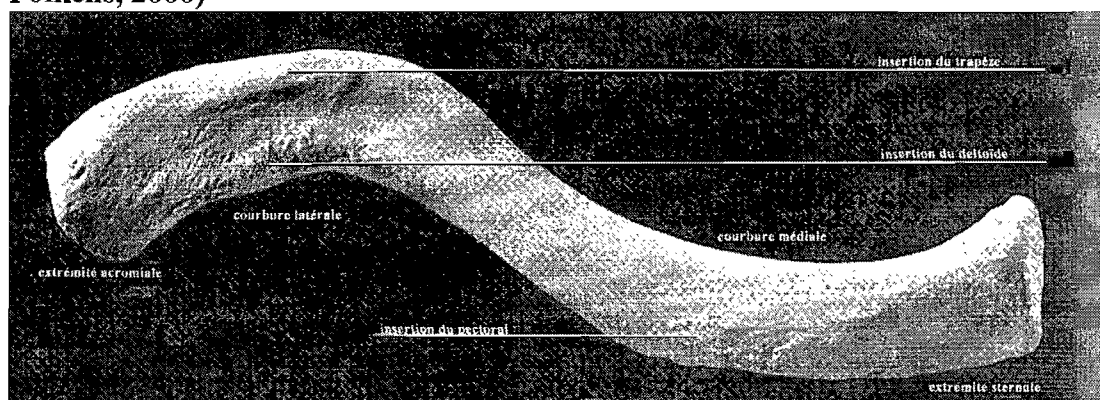


parfois à droite, parfois à gauche. Aucune étude n'a démontré qu'il y avait un côté dominant chez les grands singes, c'est-à-dire que tous les os longs d'un même côté étaient plus longs que ceux du côté opposé. Les côtés droit et gauche ont toujours été comparés pour un os à la fois et non pour tous les os composant un membre. Des index entre deux os, par exemple humérus/ulna, ont déjà été comparés pour les côtés droit et gauche, mais aucune analyse pouvant déterminer un côté dominant n'a été faite.

## 2.2 La morphologie fonctionnelle de la clavicule

La clavicule commence à s'ossifier tôt dans le développement humain, soit vers la 5<sup>e</sup>-6<sup>e</sup> semaine du développement fœtal. Cependant, l'épiphyse latérale ne se fusionne que vers 19-20 ans. La fusion de l'épiphyse médiale commence entre 16 et 21 ans pour se terminer vers 29 ans et plus (Scheuer & Black, 2000).

**Figure 1. Clavicule droite en vue supérieure (image modifiée de White & Folkens, 2000)**



La clavicule est le seul lien osseux entre le thorax et le membre supérieur et c'est ce qui permet la grande mobilité de l'épaule. De ce fait, toutes les charges imposées au bras passent par la clavicule dans le sens de sa longueur. Elle doit donc

être conçue pour résister à ces forces qui sont amenées par les muscles et les ligaments. Ceux-ci sont nombreux à avoir une origine ou une insertion sur la clavicule. Parmi les ligaments, deux sont très importants. Premièrement, le ligament costo-claviculaire vient s'attacher sur la partie antérieure de la courbure médiale de la clavicule. Il la relie à la première côte du thorax (Ljunggren, 1979). Son rôle est de stabiliser l'articulation sternoclaviculaire et de limiter l'élévation de la ceinture scapulaire en résistant aux mouvements exagérés vers le haut du bout médial de la clavicule (Mays *et al.*, 1999). Deuxièmement, le ligament coraco-claviculaire relie le processus coracoïde de la scapula à la partie postérieure de la courbure latérale de la clavicule. Ces deux ligaments exercent des forces opposées l'un par rapport à l'autre perpendiculairement à l'axe long de la clavicule qui est dans un plan transversal. Ces forces opposées créent donc un équilibre dans le plan sagittal (Ljunggren, 1979). Le rôle du ligament coraco-claviculaire est de stabiliser la partie latérale de la clavicule. Il limite les mouvements antéropostérieurs exagérés de celle-ci, notamment ceux provenant du muscle trapèze (Sellards, 2004). Comme la partie descendante du muscle *trapezius*, qui naît de la ligne nucale supérieure, de la protubérance occipitale externe et du ligament nocal et qui s'insère sur le tiers latéral de la clavicule, intervient dans la plupart des mouvements de la scapula (Platzer, 2001), les charges transmises par ce muscle sont d'autant plus importantes.

Les courbures de la clavicule ont leurs avantages fonctionnels. La courbure médiale permet une élévation rapide et puissante du membre supérieur. Elle sert de levier au muscle *pectoralis major*, très important dans la flexion du bras. Plus la courbure médiale est arquée, plus le levier est efficace (Voisin, 2006). Tout comme la

courbure médiale, la courbure latérale sert de levier, mais au muscle *deltoideus* (Voisin, 2006). La partie claviculaire de celui-ci a son origine sur la face supéro-antérieure de la courbure latérale de la clavicule et s'insère avec les deux autres parties du muscle (la partie acromiale et la partie spinale) sur le tubercule deltoïdien de l'humérus. Le muscle deltoïde est le principal abducteur du bras, la partie claviculaire étant sollicitée après que le premier tiers du mouvement ait été exécuté. La partie claviculaire entre aussi en action dans une partie de l'adduction du bras, dans l'antéversion ainsi que dans la rotation interne du bras (Platzer, 2001). Donc, des charges très importantes passent par la partie claviculaire du muscle deltoïde pour ainsi produire des charges de tension sur la clavicule même.

La courbure latérale est assez bien marquée chez l'humain, chez le chimpanzé et chez le gorille, bien qu'elle le soit à des degrés différents selon l'espèce. Par contre, une courbure médiale prononcée n'est pas présente chez toutes les espèces de primates. Parmi celles chez qui elle est marquée se trouvent l'humain et le chimpanzé. Le gorille, quant à lui, a une courbure médiale peu prononcée quand il en a une. Cette différence entre le chimpanzé et le gorille pourrait être expliquée par le mode de locomotion. Le gorille étant beaucoup moins arboricole, il a moins besoin d'une élévation rapide et puissant du membre supérieur. Aussi, une courbure médiale peu prononcée offrirait plus de résistance pour les quadrupèdes terrestres (Voisin, 2006) et serait particulièrement important pour les individus de grande taille.

### 2.3 L'asymétrie de la clavicule

Comme il a été mentionné plus haut, les os sont plastiques et réagissent aux charges mécaniques qui leur sont imposées. Ces charges mécaniques sont majoritairement imposées du côté droit chez l'humain. Les os longs de ce côté sont donc plus longs et plus robustes. Considérant le long développement de la clavicule en plus du remodelage constant de l'os, celle-ci devrait montrer des signes de charges mécaniques asymétriques. On s'attendrait donc à ce que la clavicule droite soit plus longue que la gauche comme c'est le cas des autres os longs du membre supérieur au niveau de la population. Cependant, c'est habituellement la clavicule gauche qui est plus longue que la droite (Parsons, 1916; Schultz, 1937; Olivier, 1951-1957; Ray, 1959; Mays *et al.*, 1999; Auerbach & Raxter, 2008). Cela crée donc une symétrie croisée.

La plupart des auteurs s'entendent pour dire que ce sont les charges mécaniques subies par les clavicules qui permettent d'expliquer ce phénomène. La théorie de Von Bonin (1962) décrite précédemment est l'une des hypothèses qui pourraient expliquer cette asymétrie. Comme la vascularisation du côté gauche serait favorisée pour les structures paires pendant le développement fœtal, la dominance de l'hémisphère gauche du cerveau entraînerait la latéralité majoritairement à droite. Au cours de l'enfance, celle-ci amènerait une utilisation plus fréquente du côté droit du corps. Cela provoquerait un plus grand développement des os droits qui viendrait compenser et même dépasser celui des os gauches, ce qui rejoint un peu la théorie de White (1994) concernant la latéralité. Selon Von Bonin (1962), c'est à cause de cette vascularisation au cours du développement fœtal que la clavicule gauche serait plus

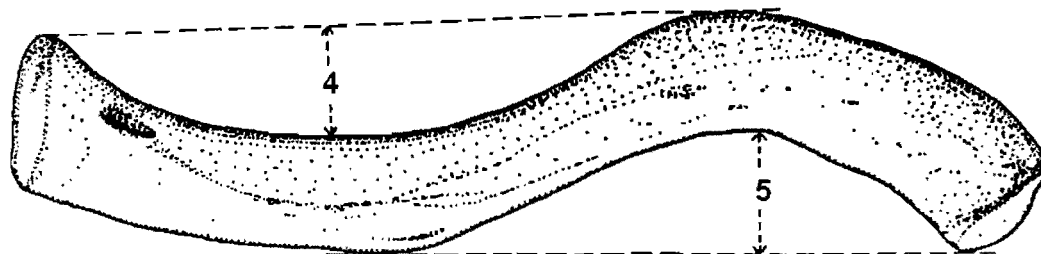
longue. La droite deviendrait par la suite plus robuste à cause de la latéralité au cours de l'enfance. La critique principale de cette hypothèse est que les autres os longs gauches devraient eux aussi être plus longs que les droits. Les os longs droits devraient être plus robustes mais pas plus longs comme c'est le cas.

Ljunggren (1979) propose que le membre supérieur gauche reçoit plus de charges que le côté opposé dans certains aspects d'activités exercées par le membre supérieur droit. Par exemple, lorsqu'une charge est soulevée à l'aide du bras droit, ce serait le bras gauche ainsi que la ceinture scapulaire gauche qui forcent le plus pour fournir un contre poids. Cette répartition des charges amènerait la clavicule gauche à être plus longue, toujours selon les lois de la biomécanique de l'os. Par contre, si on se réfère à ces lois, dans un tel cas décrit par Ljunggren, la clavicule gauche devrait non seulement être plus longue, mais aussi plus robuste, ce qui n'est pas le cas habituellement (Mays *et al.*, 1999).

Parsons (1916) croit que la concentration des charges du côté dominant, habituellement à droite, amènerait une fusion épiphysaire précoce, arrêtant ainsi la croissance osseuse. Malheureusement, aucune étude n'a été tentée concernant cette hypothèse. De plus, si cette hypothèse était véridique, elle devrait s'appliquer à tous les os longs du côté dominant. L'humérus, l'ulna et le radius devraient aussi se fusionner plus rapidement du côté dominant, donc être plus courts que ceux du côté opposé, ce qui n'est pas le cas.

Parsons (1916) a aussi suggéré que les muscles du bras, de la cage thoracique et de l'épaule du côté dominant, étant plus puissants que ceux du côté gauche, compresseraient la ceinture scapulaire médio-latéralement. Cette compression provoquerait une redistribution de l'os ayant pour conséquence une diaphyse plus robuste de la clavicule du côté dominant. La compression amènerait aussi un changement de forme ainsi qu'une réduction de la longueur de la clavicule de ce côté. Ce changement de forme pourrait se traduire par des courbures plus arquées (Ljunggren, 1979). Cette hypothèse a été rejetée par Mays *et al.* (1999), mais la méthode utilisée par ces derniers pour mesurer les courbures de la clavicule comportait des problèmes d'interprétation fonctionnelle.

**Figure 2. Méthode de mesure des courbures de la clavicule de Mays *et al.* (1999, image modifiée)**



Cette méthode consiste à mesurer la profondeur de la courbure médiale à partir d'une ligne tracée entre l'extrémité postérieure du bout sternal et le bord postérieur de la courbure latérale à son endroit le plus convexe. L'espace entre cette ligne et le bord postérieur de la courbure médiale à son endroit le plus concave est alors mesuré (Figure 2, #4). La même méthode est utilisée pour mesurer la courbure latérale, avec pour références l'extrémité antérieure du bout acromial et le bord antérieur de la courbure médiale à son endroit le plus convexe (Figure 2, #5). Cette

méthode entraîne une interdépendance des deux courbures, c'est-à-dire que si l'une change de forme, la mesure de l'autre sera influencée. Aussi, cette technique ne tient aucunement compte de l'insertion du deltoïde sur la face supéro-antérieure de la courbure latérale. Plus cette insertion est prononcée, plus la mesure entre la ligne et le bord antérieur de la clavicule est courte, donc la courbure a l'apparence d'être moins arquée qu'elle ne l'est vraiment.

À part l'hypothèse de Parsons (1916) complétée par Ljunggren (1979) concernant la compression de la ceinture scapulaire entraînant un changement de forme de la clavicule, soit des courbures plus arquées, aucune théorie exposée précédemment ne propose d'explication satisfaisante du phénomène de symétrie croisée. Comme il a été expliqué, Mays *et al.* (1999) ont réfuté l'hypothèse de Parsons et Ljunggren, mais la méthode utilisée ne convenait pas. La théorie selon laquelle les courbures de la clavicule sont plus arquées du côté dominant sera donc explorée dans cette étude pour tenter d'élucider la symétrie croisée entre la clavicule et les os du membre supérieur dominant.

#### **2.4 L'insertion du deltoïde**

L'asymétrie des courbures de la clavicule peut être influencée par différents facteurs, notamment par les muscles qui s'y insèrent comme le muscle deltoïde. L'origine de celui-ci sur la face supéro-antérieure de la courbure latérale de la clavicule est visible sur la plupart des individus. Un muscle qui prend origine ou qui s'insère sur un os, et par lequel passent des charges importantes, va souvent créer une hypertrophie de l'os à l'endroit où les deux éléments sont reliés. La forme, la

superficie et la proéminence de l'insertion musculaire peuvent être influencées par l'âge, le sexe, les niveaux hormonaux et la génétique (Wilczak, 1998). Les charges mécaniques imposées par le muscle seraient aussi déterminantes. Plus les charges mécaniques sont grandes, plus le rythme de remodelage de l'os est accéléré. Ce ne sont pas les propriétés matérielles de l'os qui changent, mais plutôt sa quantité et sa distribution. Donc, plus il y a de charges mécaniques imposées à un muscle, plus son origine et son insertion seront grandes et proéminentes (Wilczak, 1998).

L'insertion du muscle deltoïde sur l'humérus, plus précisément sur la tubérosité deltoïdienne, a été étudiée par Wilczak (1998). L'auteur a démontré que l'insertion du deltoïde sur l'humérus présentait une asymétrie quant à la grandeur de la surface d'insertion et à la proéminence de celle-ci. En effet, l'insertion serait plus grande et plus prononcée sur l'humérus droit que sur l'humérus gauche pour la plupart des individus de son échantillon. Comme l'insertion du muscle sur l'humérus est plus prononcée à droite, on peut croire qu'il en va de même pour son origine sur la clavicule d'où l'importance de contrôler pour la taille de cette insertion lors du calcul de la courbure.



### **III. PROBLÉMATIQUES ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE**

#### **3.1 Problématiques de recherche**

Deux problématiques de recherche seront abordées dans ce mémoire en prenant en considération ce que l'on sait déjà sur l'asymétrie de la clavicule. La première sera de déterminer s'il y a symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant chez les grands singes, soit chez le chimpanzé et le gorille. Bien que la symétrie croisée soit déjà démontrée chez l'humain, elle sera aussi testée pour assurer sa présence dans l'échantillon humain étudié ici.

La deuxième problématique, soit la principale, correspond à la question suivante: est-ce que les courbures horizontales de la clavicule influencent la longueur maximale de celle-ci et, par conséquent, influencent-elles l'asymétrie entre la clavicule droite et gauche? Cette deuxième problématique sera étudiée à travers les échantillons des trois espèces, soit l'humain, le chimpanzé et le gorille. Elle le sera aussi selon deux méthodes différentes, c'est-à-dire que la courbure latérale de la clavicule sera mesurée avec et sans l'insertion du deltoïde. La comparaison de ces deux méthodes permettra de savoir si l'insertion du deltoïde influence ou biaise la mesure de la courbure latérale.

#### **3.2 Hypothèses de recherche**

À partir des problématiques de recherche décrites précédemment, des hypothèses de recherche ont été établies.

Pour ce qui est de la détermination de la présence de la symétrie croisée, voici les hypothèses :

Chez l'humain,

$H_{sh0}$  : La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant n'est pas présente chez l'humain.

$H_{sh1}$  : La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant est présente chez l'humain.

Chez les grands singes,

$H_{sg0}$  : La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant n'est pas présente chez le chimpanzé et le gorille.

$H_{sg1a}$  : La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant est présente chez le chimpanzé.

$H_{sg1b}$  : La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant est présente chez le gorille.

$H_{sg1c}$  : La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant est présente chez le chimpanzé et le gorille.

Aussi, pour ce qui est de l'influence de l'insertion du deltoïde sur la mesure de la courbure latérale, les hypothèses de recherche sont :

$H_d0$  : L'insertion du deltoïde n'a aucune influence sur la différence de courbure latérale entre les clavicules droite et gauche.

H<sub>d</sub>1: La différence de courbure latérale entre les clavicules droite et gauche est plus grande si les courbures latérales sont mesurées sans l'insertion du deltoïde que si elles le sont avec l'insertion du deltoïde (courbures originales).

Quant à l'interrogation concernant l'influence des courbures horizontales sur la longueur maximale de la clavicule, les hypothèses de recherche sont :

H<sub>c</sub>0 : Les courbures horizontales de la clavicule n'influencent pas la longueur maximale de celle-ci et, par conséquent, n'influencent pas l'asymétrie entre les clavicules droite et gauche.

H<sub>c</sub>1a : Plus la courbure médiale de la clavicule est arquée, plus la longueur de celle-ci est réduite relativement à la clavicule du côté opposé.

H<sub>c</sub>1b : Plus la courbure latérale de la clavicule est arquée, plus la longueur de celle-ci est réduite relativement à la clavicule du côté opposé.

H<sub>c</sub>1c : Plus les courbures médiale et latérale de la clavicule sont arquées, plus la longueur de la clavicule est réduite relativement à la clavicule du côté opposé.

## **IV. MÉTHODE DE RECHERCHE**

### **4.1 Description du matériel de recherche**

L'échantillon humain étudié est constitué des collections archéologiques du Nunavut et du Territoire du Nord-Ouest du Musée Canadien des Civilisations à Gatineau. Il est composé de 70 individus adultes, dont 31 hommes, 31 femmes et 8 indéterminés. Seulement les individus sans pathologie ont été inclus dans les analyses.

L'échantillon de chimpanzés et de gorilles, provient des collections du Museum of Natural History of Cleveland, Ohio. Ces collections sont constituées d'animaux tués à l'état sauvage. L'échantillon de chimpanzés est composé de 27 individus, dont 12 mâles et 15 femelles. L'échantillon de gorilles est quant à lui formé de 32 individus, dont 15 mâles et 17 femelles. Tout comme pour les humains, seulement les individus sans pathologie ont été inclus dans les analyses.

Le même protocole standardisé a été respecté pour la prise des mesures chez les humains et chez les grands singes.

### **4.2 Longueurs maximales**

Les longueurs maximales de la clavicule, de l'humérus, de l'ulna et du radius ont été prises à l'aide d'une planche ostéométrique et arrondies au demi millimètre près. Ces mesures ont été traitées avec les logiciels Excel (Excel 2002; Microsoft

Corporation 1985-2001) et SPSS 10.1 (SPSS for Windows version 10.1.0; SPSS inc. 1989-2000).

#### **4.3 Mesure des courbures de la clavicule à partir de photographies numériques**

Les photographies des clavicules humaines et de celles des grands singes ont été prises selon un protocole standardisé avec un appareil numérique (Canon A95). Les clavicules ont toutes été prises en vue supérieure avec échelle et avec une distance standard entre l'os et la caméra. Les photographies ont été traitées avec les logiciels Paint (version 5.1; Microsoft Corporation 1981-2001) et ImageJ (version 1.38x; National Institute of Health). Les mesures tirées de ces photos ont été traitées avec les mêmes logiciels d'analyse statistique que les longueurs maximales.

Les courbures médiale et latérale de chaque clavicule ont été mesurées numériquement de deux façons selon la technique d'Olivier (Olivier, 1951) pour les courbures horizontales (Figure 3). Premièrement, elles ont été mesurées sans modification, ce qui sera appelé « courbure originale ». On obtient donc les indices de courbure originale de la façon suivante :

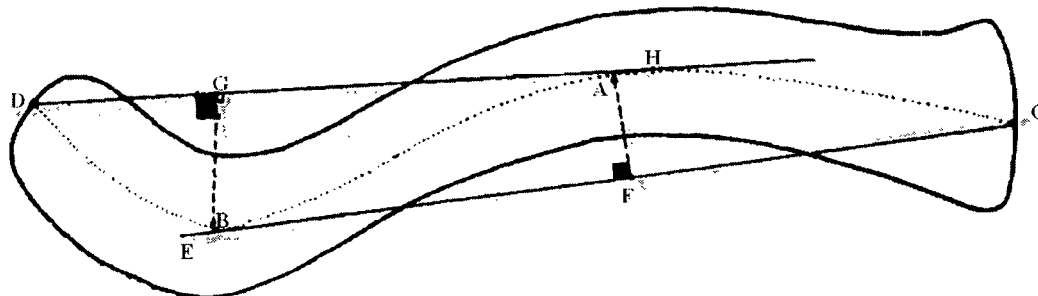
$$\text{Courbure médiale originale} = AF/CE \times 100$$

$$\text{Courbure latérale originale} = BG/DH \times 100$$

Le point C a été placé au centre de la surface articulaire sternale et le point D au centre de la surface articulaire acromiale. Les points A et B ont été placés au centre de la diaphyse à l'endroit où la courbure est la plus concave. À partir de ces points, les cordes CE et DH ont été marquées. Ces étapes ont été effectuées avec l'aide du logiciel Paint. Les perpendiculaires AF et BG ont ensuite été mesurées avec ImageJ.

Ces perpendiculaires sont à  $90^\circ (\pm 0.5^\circ)$  des cordes CE et DH (points F et G respectivement).

**Figure 3. Technique de mesure des courbures de la clavicule (modifié de Olivier, 1951). Clavicule gauche en vue supérieure**



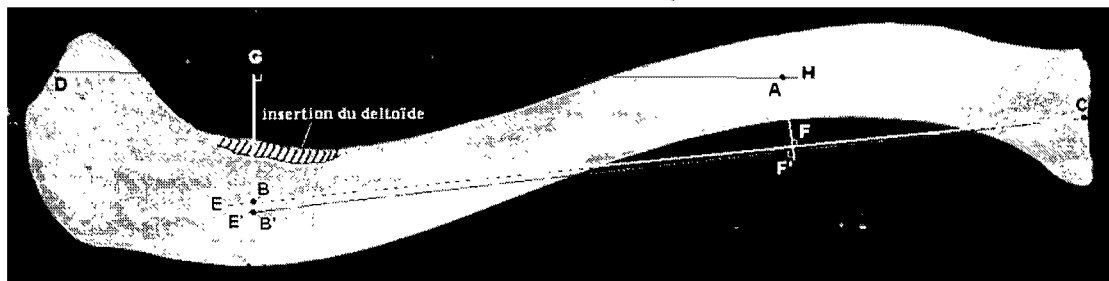
Deuxièmement, elles ont été mesurées sans l'insertion du deltoïde. Comme on l'a vu dans le cadre conceptuel, l'insertion du deltoïde sur la face supéro-antérieure de la courbure latérale de la clavicule pourrait être influencée par plusieurs facteurs dont l'asymétrie des charges mécaniques, l'âge et le sexe. Pour pouvoir comparer la courbure latérale d'individus à la musculature différente (et donc à la taille d'insertion différente), il est donc nécessaire d'enlever l'insertion du deltoïde sur la clavicule. Donc, la partie visible sur les photographies de cette insertion a été retirée numériquement avec le logiciel Paint. Les courbures modifiées seront appelées « courbures sans deltoïde » pour les différencier des « courbures originales ». Les points C, D et A restent les mêmes, ainsi que la corde DH. Par contre, comme la suppression de l'insertion du deltoïde accentue la courbure latérale de la clavicule, le point B est déplacé postérieurement et devient B'. Par conséquent, la corde CE devient CE' et la tangente AF, AF'. À partir de ces nouveaux points, les courbures sans deltoïde sont mesurées de la même façon que les courbures originales :

$$\text{Courbure médiale sans deltoïde} = AF'/CE' \times 100$$

$$\text{Courbure latérale sans deltoïde} = B'G/DH \times 100$$

Tous les points, cordes et tangentes sont illustrés à la Figure 4 (les points, cordes et tangentes ont été légèrement grossis pour offrir une meilleure vue sur cette image réduite).

**Figure 4. Mesure des courbures originales et sans deltoïde. Clavicule gauche en vue supérieure**



Comme Olivier (1951) le mentionne, cette technique est la plus adaptée pour comparer les humains et les primates puisqu'elle est utilisable sur les courbures peu marquées comme c'est le cas chez le chimpanzé et le gorille. L'auteur critique aussi sa propre technique en disant que le point de rencontre entre la tangente et la courbure opposée peut être imprécis et peut augmenter la marge d'erreur. Il suggère une alternative pour corriger cette imprécision, mais affirme que les résultats des deux techniques sont en corrélation constante (Olivier, 1951, p.758) et donc cette correction n'est pas nécessaire pour le genre d'étude effectué ici. L'indépendance des mesures des courbures médiale et latérale n'est pas totale, mais elle est plus grande que dans la méthode utilisée par Mays *et al.* (1999).

#### 4.4 Détermination de l'asymétrie et analyses statistiques

Toutes les données d'asymétrie ont été standardisées selon le protocole établis par les études sur l'asymétrie (Steele & Mays, 1995; Mays *et al.* 1999; Auerbach & Ruff, 2006). Les différences entre les côtés gauche et droit ont été transformées en pourcentage d'asymétrie directionnelle (%AD) selon la formule suivante :

$$\%AD = (\text{droit-gauche})/(\text{moyenne de droit et gauche}) \times 100$$

Cette méthode permet de contrôler l'effet des différences de taille entre individus. Les mâles et les femelles n'ont pas été séparés puisque la problématique ne l'oblige pas et que la méthode de pourcentage d'asymétrie directionnelle tient compte du biais lié à la taille des individus, incluant le dimorphisme sexuel.

Les individus qui présentent une différence entre les côtés droit et gauche de  $\geq 0,5\%$  sont considérés comme des individus ne présentant pas d'asymétrie. Cette méthode permet d'éliminer l'asymétrie fluctuante, celle-ci n'étant pas significative au niveau de la population.

Le test du khi-carré a été employé pour tester les asymétries de longueur entre les différents os. Tout d'abord, chaque os a été testé à l'aide d'un test de khi-carré pour déterminer s'il y avait présence d'asymétrie, c'est-à-dire si la présence de l'asymétrie était plus grande qu'une base théorique de 50/50 qui représente une population où la présence et l'absence d'asymétrie sont distribuées à parts égales. Par la suite, lorsqu'il y avait présence d'asymétrie, un autre test de khi-carré servait à déterminer si celle-ci était dominante du côté droit ou du côté gauche. Pour déterminer de quel côté l'asymétrie est dominante, les individus ne présentant pas



d'asymétrie ont été retirés du test statistique pour pouvoir comparer les résultats avec une base théorique de 50/50 qui représente une population où l'asymétrie n'est pas majoritairement du côté droit ou du côté gauche.

Le côté dominant du membre supérieur a été déterminé avec l'aide des trois os longs le composant, c'est-à-dire l'humérus, l'ulna et le radius. Pour chaque individu, la présence d'asymétrie de longueur pour chacun des os a été testée et un côté dominant au niveau populationnel déterminé à l'aide de tests de khi-carré. Le côté dominant du membre supérieur a ensuite été déterminé de la façon suivante. Trois os dont le côté dominant était le droit donnaient évidemment un membre supérieur droit dominant. Deux os droits et un os gauche dominants donnaient aussi un membre supérieur droit dominant et vice versa. Un os droit et un os gauche dominant combinés à un os sans côté dominant donnaient un membre supérieur sans côté dominant. Une fois les côtés dominants de la clavicule et du membre supérieur déterminés, les deux résultats ont été comparés avec un test de khi-carré. Les individus ont été séparés en deux catégories, la première étant celle où les individus présentaient une symétrie croisée, c'est-à-dire la dominance de la clavicule d'un côté et celle du membre supérieur de l'autre, la deuxième étant constituée des individus dont le côté dominant de la clavicule et du membre supérieur était le même. Les individus n'ayant pas de côté dominant soit pour la clavicule, soit pour le membre supérieur ont été éliminés du test de khi-carré, afin de pouvoir comparer les individus présentant une symétrie croisée et ceux n'en présentant pas par rapport à une base théorique de 50/50.

L'influence de l'insertion du deltoïde a été testée à l'aide d'un test de t unilatéral pour échantillons appariés. La question était de savoir si la différence de courbure latérale originale entre les clavicules droite et gauche est plus grande que la différence de courbure latérale mesurée sans l'insertion du deltoïde. Cette étape permet de savoir si l'insertion du deltoïde altère de quelque façon que ce soit le degré de la courbure latérale de la clavicule. Comme on l'a mentionné dans le cadre conceptuel, l'insertion du deltoïde est variable en forme et en grosseur. À cause des charges plus importantes imposées au membre supérieur du côté dominant, il y a des raisons de croire que cette insertion serait plus grosse sur la clavicule droite que sur la gauche. Si la courbure latérale droite est plus arquée que la gauche, l'insertion du deltoïde plus grosse à droite viendrait, en apparence, amoindrir la courbure latérale droite. Cela aurait pour effet de réduire la différence entre les courbures latérales droite et gauche, alors que la différence réelle entre ces courbures latérales devraient être plus grande.

Pour déterminer si les courbures horizontales de la clavicule ont de l'influence sur la longueur maximale de celle-ci, des régressions ont été effectuées entre la différence de longueur maximale et la différence de courbure. Chaque différence de courbure, médiale et latérale, originale et sans deltoïde, a été mise en régression avec la différence de longueur de la clavicule.

Les trois espèces étudiées ont été soumises au même protocole de tests statistiques.

## V. RÉSULTATS

### 5.1 L'asymétrie de longueur du membre supérieur chez l'humain

Les statistiques descriptives pour les os longs du membre supérieur de l'échantillon d'humains sont présentées dans le Tableau I. Un tableau comparatif des espèces de toutes les statistiques descriptives des os longs du membre supérieur est présenté à l'Annexe Ia.

**Tableau I. Statistiques descriptives des os longs du membre supérieur de l'échantillon humain**

	Longueur maximale (mm)					
	Côté droit			Côté gauche		
	Moyenne	Écart-type	N	Moyenne	Écart-type	N
<b>Clavicule</b>	136,61	10,22	70	138,59	9,57	70
<b>Humérus</b>	298,39	17,37	68	292,40	17,03	68
<b>Ulna</b>	228,30	12,72	60	225,80	12,40	59
<b>Radius</b>	208,31	12,81	44	207,13	27,57	62

#### 5.1.1 L'asymétrie de la clavicule chez l'humain

En accord avec les études précédentes, l'échantillon humain étudié présente aussi une asymétrie de la longueur maximale de la clavicule ( $\chi^2=35,714$ ,  $n=70$ ,  $p=0,000$ ). Sur 70 individus, 24,29% avaient la clavicule droite plus longue que la gauche, 14,29% avaient les deux clavicules d'égale longueur et 61,43% avaient la clavicule gauche plus longue que la droite. Un test de khi-carré a confirmé que l'asymétrie favorisant le côté gauche de la clavicule est significative ( $\chi^2=11,267$ ,  $n=70$ ,  $p=0,001$ ).

### 5.1.2 Détermination du côté dominant chez l'humain

Comme on peut le constater dans le Tableau II, chez l'humain, l'humérus est le seul os du membre supérieur à présenter une asymétrie significative au niveau populationnel. Aucune asymétrie n'est significative pour l'ulna, bien que le test de khi-carré pour celui-ci ne soit pas très loin du seuil de signification de 5%. Quant au radius, il est clair qu'aucune asymétrie n'est établie.

**Tableau II. Répartition de l'asymétrie de longueur maximale du membre supérieur de l'échantillon humain (%)**

	N	Répartition de l'asymétrie			Présence d'asymétrie	
		D>G	D=G	D<G	X <sup>2</sup>	Sig.
<b>Humérus</b>	67	67,16	32,84	0,00	7,896	0,005
<b>Ulna</b>	53	62,26	9,43	28,30	3,189	0,074
<b>Radius</b>	43	62,79	11,63	25,58	1,884	0,170

Comme les données présentées dans le Tableau II le montrent, aucun humérus gauche n'est plus long qu'un droit. Au niveau populationnel, la latéralité favorisant le côté droit de l'humérus chez l'humain est donc totalement significative. En ce qui concerne l'ulna et le radius, comme ils ne sont pas significativement asymétriques, aucune latéralité ne peut leur être attribuée.

Compte tenu de la distribution individuelle de l'asymétrie des trois os du membre supérieur, la répartition du côté dominant est la suivante : sur 68 individus, 75% ont le côté droit dominant contre 4,41% pour le côté gauche et 20,6% n'avaient pas de côté dominant. Le Tableau III indique que la présence d'un côté dominant ainsi que la latéralité à droite du membre dominant sont significatives.

**Tableau III. Présence et latéralité d'un côté dominant pour le membre supérieur de l'échantillon humain**

	<b>N</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>Sig.</b>
<b>Présence d'un côté dominant</b>	68	23,529	0,000
<b>Latéralité à droite du côté dominant</b>	54	42,667	0,000

### **5.1.3. La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur chez l'humain**

Le côté dominant du membre supérieur de chaque individu a été comparé au côté dominant de sa clavicule. Sur 70 individus, 42,86% présentaient une symétrie croisée, 22,86% avaient une asymétrie du même côté et 34,29% n'avaient pas de côté dominant soit pour le membre supérieur, soit pour la clavicule. Un test de khi-carré confirme que la symétrie croisée est significative ( $\chi^2=4,261$ ,  $n=46$ ,  $p=0,039$ ).

Des 30 individus qui présentaient une symétrie croisée, 96,6% avaient la clavicule gauche dominante pour un membre supérieur droit dominant. 3,33% montraient une clavicule droite dominante pour un membre supérieur gauche dominant. Des 16 individus dont le côté dominant était le même pour la clavicule et pour le membre supérieur, l'asymétrie était du côté droit dans 87,5% des cas et du côté gauche dans 12,5%.

Pour l'humain, on peut donc accepter l'hypothèse  $H_{sh1}$  qui affirme qu'il y a présence de symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant.

## 5.2 L'asymétrie de longueur du membre supérieur chez le chimpanzé

Les statistiques descriptives pour les os longs du membre supérieur de l'échantillon de chimpanzés sont présentées dans le Tableau IV.

**Tableau IV. Statistiques descriptives des os longs du membre supérieur de l'échantillon de chimpanzés**

	Longueur maximale (mm)					
	Côté droit			Côté gauche		
	Moyenne	Écart-type	N	Moyenne	Écart-type	N
<b>Clavicule</b>	126,96	7,77	28	126,80	9,72	28
<b>Humérus</b>	305,31	10,90	26	303,90	11,47	28
<b>Ulna</b>	288,31	15,04	23	286,73	15,80	25
<b>Radius</b>	281,44	14,13	22	279,71	15,84	25

### 5.2.1 L'asymétrie de la clavicule chez le chimpanzé

Une asymétrie significative de la clavicule est aussi présente chez le chimpanzé ( $\chi^2=8,333$ ,  $n=27$ ,  $p=0,004$ ). Par contre, cette asymétrie est répartie plus également entre les deux côtés du corps que chez l'humain. Des 27 individus, 48,15% avaient la clavicule gauche plus longue que la droite, 29,63% avaient la droite plus longue que la gauche et 22,22% présentaient des clavicules de longueur maximale égale. Chez le chimpanzé, l'asymétrie de la clavicule n'est pas latéralisée ( $\chi^2=1,190$ ,  $n=21$ ,  $p=0,275$ ).

### 5.2.2 Détermination du côté dominant chez le chimpanzé

Comme l'illustre le Tableau V, les trois os du membre supérieur chez le chimpanzé ne sont pas asymétriques. Ils sont même significativement symétriques, c'est-à-dire que les os du côté droit sont relativement (incluant l'ajustement de 0,5%) de la même longueur que leur pair de gauche.

**Tableau V. Répartition de l'asymétrie de longueur maximale du membre supérieur de l'échantillon de chimpanzés (%)**

	N	Répartition de l'asymétrie			Présence de symétrie	
		D>G	D=G	D<G	X <sup>2</sup>	Sig.
<b>Humérus</b>	26	7,69	80,77	11,54	9,846	0,002
<b>Ulna</b>	21	3,22	85,71	9,52	10,714	0,001
<b>Radius</b>	21	0	100	0	-	-

Au niveau de la population, une fois tous les os du membre supérieur pris en considération, il n'y a donc pas de côté dominant. Un test de khi-carré confirme même l'égalité du côté droit et du côté gauche pour le membre dominant ( $x^2=4,481$ ,  $n=27$ ,  $p=0,034$ ).

### **5.2.3 La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur chez le chimpanzé**

Sur 27 chimpanzés, 14,81% présentaient une symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur, 7,41% avaient le même côté dominant pour la clavicule et le membre supérieur et 77,78% n'avaient pas de côté dominant soit pour la clavicule, soit pour le membre supérieur.

La symétrie croisée n'est donc pas significativement présente dans l'échantillon de chimpanzés.

### **5.3 L'asymétrie de longueur du membre supérieur chez le gorille**

Les statistiques descriptives pour les os longs du membre supérieur de l'échantillon de gorilles sont présentées dans le Tableau VI.

**Tableau VI. Statistiques descriptives des os longs du membre supérieur de l'échantillon de gorilles**

	Longueur maximale (mm)					
	Côté droit			Côté gauche		
	Moyenne	Écart-type	N	Moyenne	Écart-type	N
<b>Clavicule</b>	150,44	21,77	32	152,66	20,66	32
<b>Humérus</b>	401,95	39,45	31	391,90	38,86	31
<b>Ulna</b>	335,79	33,79	31	334,56	33,95	32
<b>Radius</b>	323,00	31,92	29	322,48	33,30	30

### 5.3.1 L'asymétrie de la clavicule chez le gorille

Chez le gorille, sur 32 individus, 15,63% avaient la clavicule droite plus longue que la gauche, 65,63% avaient la gauche plus longue que la droite et 18,75% avaient les deux clavicules d'égale longueur. La présence d'asymétrie de la longueur maximale de la clavicule est donc significative pour l'échantillon de gorilles ( $\chi^2=12,5$ ,  $n=32$ ,  $p=0,000$ ). Aussi, tout comme chez l'humain, cette asymétrie favorise le côté gauche, celui-ci étant significativement plus long que le côté droit ( $\chi^2=9,846$ ,  $n=26$ ,  $p=0,002$ ).

### 5.3.2 Détermination du côté dominant chez le gorille

Dans le Tableau VII, on peut constater que chez le gorille comme chez le chimpanzé, une symétrie de longueur maximale significative est présente pour tous les os du membre supérieur.

**Tableau VII. Répartition de l'asymétrie de longueur maximale du membre supérieur de l'échantillon de gorilles (%)**

	N	Répartition de l'asymétrie			Présence de symétrie	
		D>G	D=G	D<G	X <sup>2</sup>	Sig.
<b>Humérus</b>	29	0	100	0	-	-
<b>Ulna</b>	31	6,45	90,32	3,23	20,161	0,000
<b>Radius</b>	27	7,40	85,19	11,17	13,370	0,000



Par conséquent, il n'y a pas de côté dominant chez le gorille. En effet, sur 32 individus, 9,38% avaient le côté droit dominant, 6,25% avaient le côté gauche dominant et 84,38% n'avaient pas de côté dominant. La symétrie entre les membres supérieurs droit et gauche est donc significative ( $\chi^2=15,125$ ,  $n=32$ ,  $p=0,000$ ).

### **5.3.3 La symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur chez le gorille**

Sur 32 gorilles, 9,38% démontraient une symétrie croisée, le côté dominant de la clavicule et du membre supérieur était le même pour 6,25% de l'échantillon et 84,38% des individus n'avaient pas de côté dominant soit pour la clavicule, soit pour le membre supérieur. La présence de la symétrie croisée chez l'échantillon de gorilles n'est donc pas significative.

En ce qui concerne la symétrie croisée, on se doit de réfuter toutes les hypothèses  $H_{sg1}$  et donc d'accepter l'hypothèse  $H_{sg0}$  qui affirme qu'il n'y a pas présence de symétrie croisée chez le chimpanzé et chez le gorille.

### **5.4 L'influence de l'insertion du deltoïde sur la différence de courbure latérale de la clavicule**

L'influence de l'insertion du deltoïde sur la différence de courbure latérale entre les clavicules droite et gauche a été testée à l'aide d'un test de t unilatéral. La question était de savoir si la différence de courbure latérale entre les clavicules droite et gauche était plus grande avec ou sans l'insertion du deltoïde. Le test de t n'étant pas significatif, on se doit d'accepter l'hypothèse  $H_d0$  qui soutient que l'insertion du deltoïde n'a pas d'influence sur la différence de courbure latérale entre les clavicules

droite et gauche que ce soit chez l'humain, le chimpanzé ou le gorille. Cependant, comme on peut le constater dans le Tableau VIII, le test de t pour l'humain est très proche du seuil de signification de 5%. Le t étant négatif, on peut affirmer qu'il y a une forte tendance à l'effet que l'insertion du deltoïde affecte la différence de courbure latérale et que cette dernière est plus petite lorsque les courbures latérales sont mesurées avec l'insertion du deltoïde (courbures originales). Cela suggère que l'insertion du deltoïde pourrait masquer une plus grande différence de courbure latérale entre les clavicules droite et gauche que celle qui apparaît lorsque les courbures sont mesurées telles quelles chez l'humain.

**Tableau VIII. Test de t comparant la différence de courbure latérale originale et la différence de courbure latérale sans deltoïde**

<b>Espèce</b>	<b>T</b>	<b>Sig.</b>	<b>N</b>
<b>Humain</b>	-1,948	0,056	70
<b>Chimpanzé</b>	0,229	0,821	27
<b>Gorille</b>	0,018	0,986	32

## **5.5 L'influence des courbures horizontales sur la longueur maximale de la clavicule**

### **5.5.1. L'influence des courbures horizontales sur la longueur maximale de la clavicule chez l'humain**

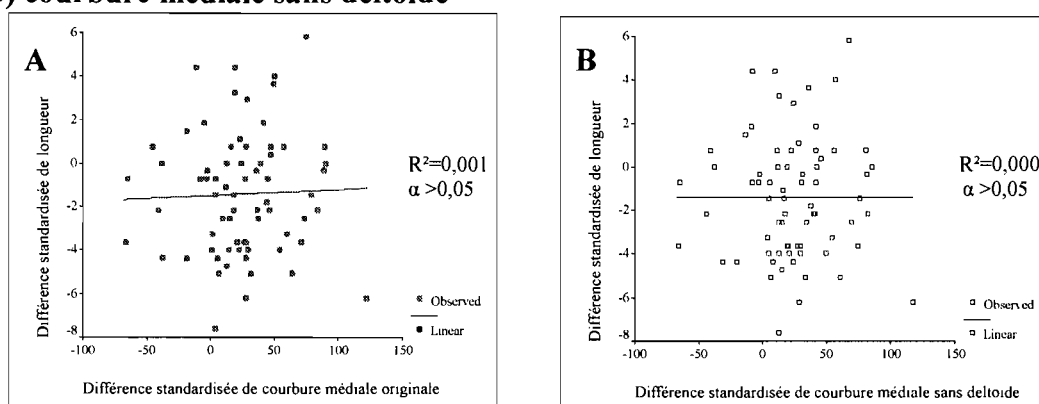
Les statistiques descriptives pour les courbures de la clavicule de l'échantillon humain sont présentées dans le Tableau IX. Un tableau comparatif des espèces de toutes les statistiques descriptives des courbures de la clavicule est présenté à l'Annexe Ib.

**Tableau IX. Statistiques descriptives des courbures de la clavicule de l'échantillon humain**

	Clavicule droite			Clavicule gauche		
	Moyenne	Écart-type	N	Moyenne	Écart-type	N
<b>Indice de courbure médiale originale</b>	10,38	2,54	70	8,11	2,92	70
<b>Indice de courbure latérale originale</b>	16,07	3,07	70	16,88	3,56	70
<b>Indice de courbure médiale sans deltoïde</b>	11,01	2,57	70	8,71	2,95	70
<b>Indice de courbure latérale sans deltoïde</b>	17,87	3,28	70	18,40	3,57	70

En ce qui concerne la courbure médiale chez l'humain, rien n'indique qu'elle ait une influence sur la longueur maximale de la clavicule. Comme on peut le voir dans la Figure 5 et au Tableau X, les régressions, que ce soit pour la courbure originale ou sans deltoïde, ne sont pas significatives. Cela indique que la courbure médiale n'a pratiquement aucun effet sur la longueur maximale de la clavicule.

**Figure 5. Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale de la clavicule chez l'humain : A) courbure médiale originale, B) courbure médiale sans deltoïde**

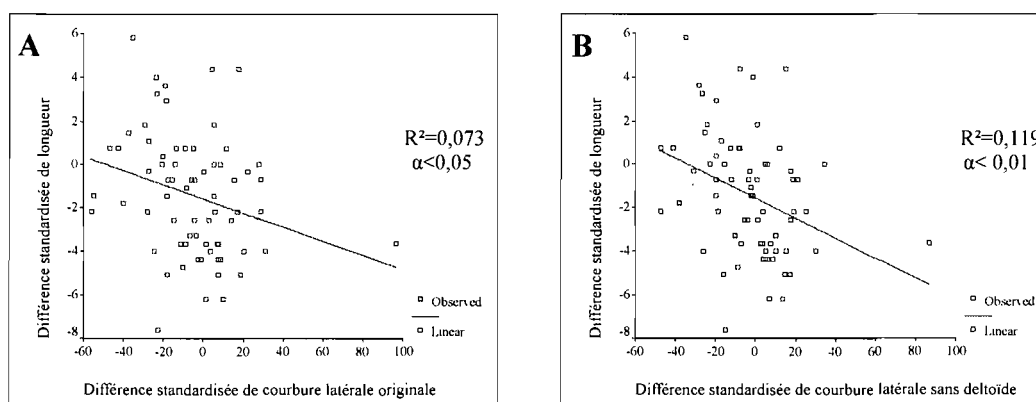


**Tableau X. Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale de la clavicule chez l'humain**

Type de courbure	Pente	Intercept	F	Sig.	N
Courbure médiale originale	0,0028	-1,5034	0,09	0,766	70
Courbure médiale sans deltoïde	9,8 <sup>E</sup> -05	-1,4369	9,8E-05	0,992	70

Pour ce qui est de la courbure latérale, on peut affirmer que plus cette courbure est arquée plus la longueur maximale de la clavicule est petite et ce, significativement (Figure 6, Tableau XI). On constate aussi que la pente est plus prononcée dans le cas de la courbure latérale mesurée sans l'insertion du deltoïde. Dans le cas de la courbure latérale originale, la pente est significative à l'intérieur d'un seuil de 5%, alors que celle de la courbure latérale sans deltoïde l'est à l'intérieur d'un seuil de 1%. La corrélation est donc plus grande lorsque la courbure latérale est mesurée sans l'insertion du deltoïde.

**Figure 6. Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale de la clavicule chez l'humain : A) courbure latérale originale, B) courbure latérale sans deltoïde**



**Tableau XI. Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale chez l'humain**

Type de courbure	Pente	Intercept	F	Sig.	N
<b>Courbure latérale originale</b>	-0,0324	-1,5941	5,32	0,024	70
<b>Courbure latérale sans deltoïde</b>	-0,0459	-1,5672	9,15	0,004	70

De plus, comme la pente est négative, cela vient confirmer que plus l'asymétrie de la courbure latérale est à droite (courbure latérale droite plus arquée que la gauche), plus l'asymétrie de la longueur maximale est à gauche (longueur maximale gauche plus grande que la droite) et vice versa.

Comme on peut le voir dans la Figure 6, il y a un individu à l'écart des autres avec une valeur de courbure latérale entre 80 et 100 selon que la courbure a été mesurée avec ou sans deltoïde. Cet individu est dans la moyenne de la différence de longueur de la clavicule en ayant la clavicule gauche légèrement plus longue que la droite. C'est la courbure latérale très arquée de sa clavicule droite qui le fait sortir du nuage de points. Bien que cet individu ne présente aucune pathologie visible, les mêmes régressions ont été faites sans celui-ci. Les résultats sont semblables aux régressions originales (courbure latérale originale :  $R^2=0,067$ ,  $\alpha<0,05$ ; courbure latérale sans deltoïde :  $R^2=0,120$ ,  $\alpha<0,01$ ).

En ce qui a trait à l'influence des courbures sur la longueur maximale de la clavicule chez l'humain, on peut accepter l'hypothèse  $H_{c1b}$  seulement qui affirme que plus la courbure latérale de la clavicule est arquée, plus la longueur de celle-ci est réduite relativement à la clavicule du côté opposé. On se doit de réfuter  $H_{c1a}$  selon

laquelle plus la courbure médiale de la clavicule est arquée, plus la longueur de celle-ci est réduite comparativement à la clavicule du côté opposé et  $H_{c1c}$  selon laquelle plus les courbures médiale et latérale de la clavicule sont arquées, plus la longueur de celle-ci est réduite comparativement à la clavicule du côté opposé.

### 5.5.2 L'influence des courbures horizontales sur la longueur maximale de la clavicule chez le chimpanzé

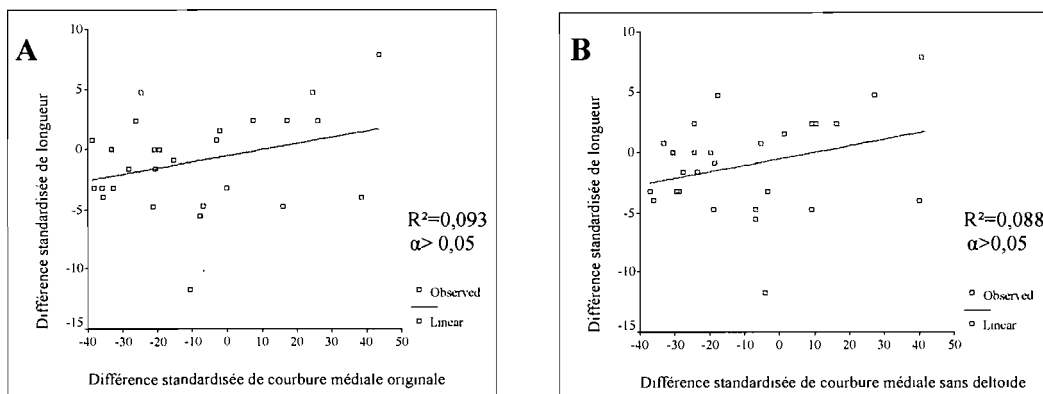
Les statistiques descriptives pour les courbures de la clavicule de l'échantillon de chimpanzés sont présentées dans le Tableau XII.

**Tableau XII. Statistiques descriptives des courbures de la clavicule de l'échantillon de chimpanzés**

	Clavicule droite			Clavicule gauche		
	Moyenne	Écart-type	N	Moyenne	Écart-type	N
<b>Indice de courbure médiale originale</b>	9,72	2,89	28	10,82	2,70	28
<b>Indice de courbure latérale originale</b>	19,39	4,42	28	19,95	3,60	28
<b>Indice de courbure médiale sans deltoïde</b>	10,40	3,02	28	11,55	2,88	28
<b>Indice de courbure latérale sans deltoïde</b>	21,31	4,80	28	22,00	4,23	28

Chez le chimpanzé, ni la courbure latérale ni la médiale n'influence significativement la longueur maximale de la clavicule comme on peut le voir dans les Figures 7 et 8 (Tableaux XIII et XIV). Il faut donc accepter l'hypothèse  $H_{c0}$  qui propose qu'il n'y a pas d'influence des courbures sur la longueur maximale de la clavicule chez le chimpanzé.

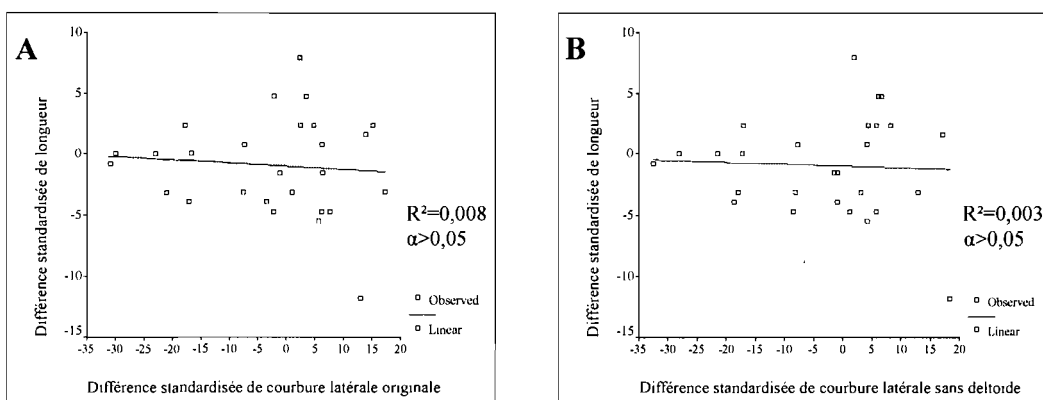
**Figure 7. Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale de la clavicule chez le chimpanzé : A) courbure médiale originale, B) courbure médiale sans deltoïde**



**Tableau XIII. Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale chez le chimpanzé**

Type de courbure	Pente	Intercept	F	Sig.	N
Courbure médiale originale	0,0513	-0,4899	2,58	0,121	27
Courbure médiale sans deltoïde	0,0538	-0,4471	2,42	0,132	27

**Figure 8. Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale de la clavicule chez le chimpanzé : A) courbure latérale originale, B) courbure latérale sans deltoïde**



**Tableau XIV. Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale chez le chimpanzé**

Type de courbure	Pente	Intercept	F	Sig.	N
<b>Courbure latérale originale</b>	-0,0264	-1,0365	0,20	0,658	27
<b>Courbure latérale sans deltoïde</b>	-0,0154	-1,0091	0,07	0,801	27

### 5.5.3 L'influence des courbures horizontales sur la longueur maximale de la clavicule chez le gorille

Les statistiques descriptives pour les courbures de la clavicule de l'échantillon de gorilles sont présentées dans le Tableau XV.

**Tableau XV. Statistiques descriptives des courbures de la clavicule de l'échantillon de gorilles**

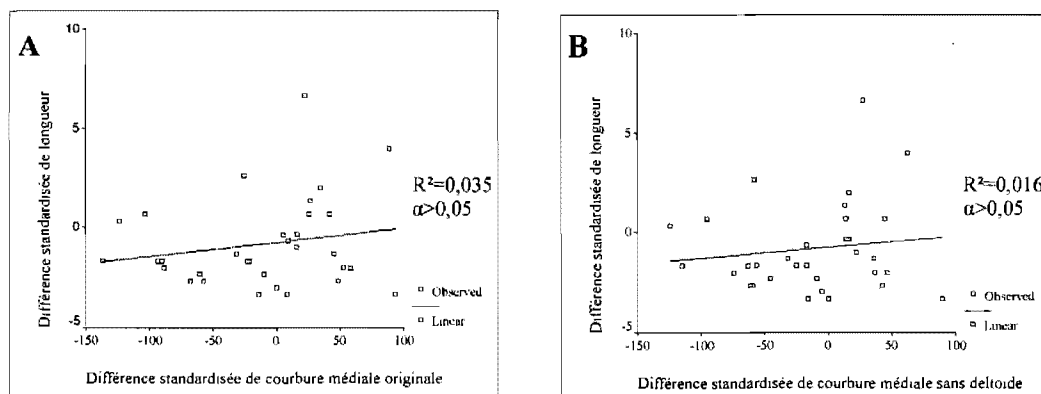
	Clavicule droite			Clavicule gauche		
	Moyenne	Écart-type	N	Moyenne	Écart-type	N
<b>Indice de courbure médiale originale</b>	2,89	2,21	32	3,23	2,14	32
<b>Indice de courbure latérale originale</b>	13,66	4,05	32	14,98	3,21	32
<b>Indice de courbure médiale sans deltoïde</b>	3,62	2,31	32	4,09	2,19	32
<b>Indice de courbure latérale sans deltoïde</b>	15,95	4,49	32	17,51	3,63	32

Tout comme chez le chimpanzé, les régressions effectuées sur l'échantillon de gorilles ne révèlent rien de significatif. Ni la courbure médiale (Figure 9, Tableau XVI), ni la courbure latérale (Figure 10, Tableau XVII) n'a d'influence significative sur la longueur maximale de la clavicule. En ce qui a trait aux gorilles, il faut donc accepter  $H_0$  qui propose que les courbures horizontales de



la clavicule n'influencent pas la longueur maximale de celle-ci et que, par conséquent, elles n'influencent pas l'asymétrie entre les clavicules droite et gauche.

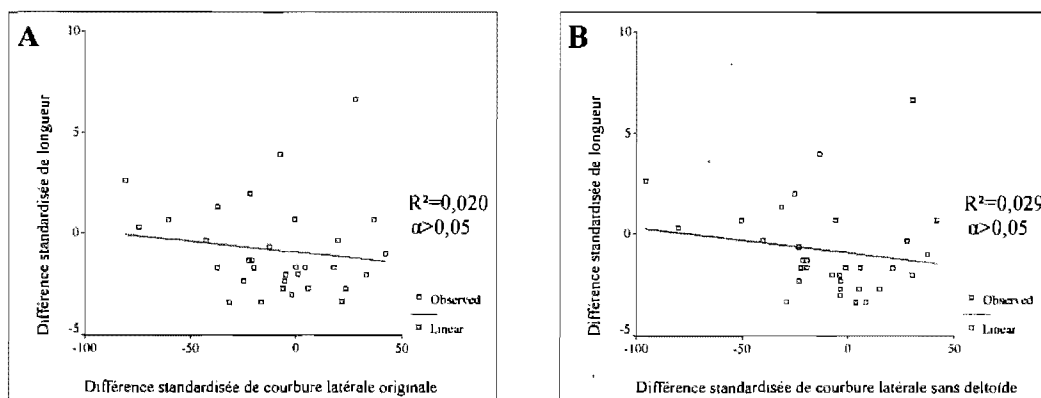
**Figure 9. Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale de la clavicule chez le gorille : A) courbure médiale originale, B) courbure médiale sans deltoïde**



**Tableau XVI. Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure médiale chez le gorille**

Type de courbure	Pente	Intercept	F	Sig.	N
Courbure médiale originale	0,0070	-0,7307	1,09	0,306	32
Courbure médiale sans deltoïde	0,0055	-0,7404	0,49	0,490	32

**Figure 10. Régression entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale de la clavicule chez le gorille : A) courbure latérale originale, B) courbure latérale sans deltoïde**



**Tableau XVII. Régression linéaire entre les différences standardisées de longueur et de courbure latérale chez le gorille**

<b>Type de courbure</b>	<b>Pente</b>	<b>Intercept</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>	<b>N</b>
<b>Courbure latérale originale</b>	-0,0106	-0,9061	0,62	0,439	32
<b>Courbure latérale sans deltoïde</b>	-0,0124	-0,9235	0,88	0,355	32

## VI. DISCUSSION

Comme le révèlent les résultats de cette étude, l'échantillon humain est conforme aux études précédentes seulement pour certains aspects. Tel qu'il avait déjà été démontré, la clavicule gauche est habituellement plus longue que la droite et le membre supérieur dominant, une fois les trois os de celui-ci réunis, est le droit. Cependant, au niveau populationnel, l'échantillon humain présenté dans cette étude ne présente aucune asymétrie significative pour l'ulna comme pour le radius. Il faut par contre mentionner que le test de khi-carré pour l'asymétrie de l'ulna n'était pas loin du seuil de signification de 5%. Toutefois, l'asymétrie du radius était clairement non significative. Cela pourrait être dû au nombre plus restreint d'ulna et de radius présents dans l'échantillon, car plusieurs étaient endommagés lors de la collecte de données. Malgré cela, il y a tout de même une symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur chez l'humain. Il faut donc se demander quels sont les facteurs qui peuvent influencer cette symétrie croisée. Évidemment, tous les facteurs environnementaux et génétiques (charges mécaniques imposées par les activités, sexe, âge, hormones, etc.) ne pouvaient être contrôlés dans le cadre de cette étude. Ceux qui pouvaient l'être l'ont été, c'est-à-dire que les données ont été standardisées pour contrôler l'effet de la taille des individus.

L'échantillon de chimpanzés est, lui aussi, conforme aux études déjà effectuées sur cette espèce pour ce qui est de la clavicule. Celle-ci est effectivement asymétrique quant à sa longueur maximale, comme chez l'humain. Cette asymétrie est cependant bien répartie entre les côtés droit et gauche, c'est-à-dire qu'il n'y a pas

de côté dominant au niveau de la population. Quant à eux, les os du membre supérieur ne sont pas asymétriques. Contrairement à ce qu'affirment les études déjà menées sur le sujet et à ce qu'on s'attendait, la symétrie de l'humérus, de l'ulna et du radius a même été confirmée par les tests de khi-carré. Sachant que chacun des os est symétrique, il n'est pas étonnant de constater qu'il n'y a pas de côté dominant pour le membre supérieur chez l'échantillon de chimpanzés. En ce qui concerne la symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur, elle n'avait jamais été étudiée chez le chimpanzé. Elle s'est d'ailleurs révélée non significative, contrairement à l'humain. En effet, la symétrie croisée n'est pas plus présente que l'asymétrie du même côté dans l'échantillon de chimpanzés.

Chez le gorille, la symétrie croisée est aussi clairement non significative. Aussi, comme chez le chimpanzé, les os du membre supérieur sont tous significativement symétriques. Cette symétrie est plutôt étonnante chez le gorille comme chez le chimpanzé puisque les études, particulièrement celle de Schultz (1937), révèlent la présence d'asymétrie au niveau des os du membre supérieur. Par contre, il n'est indiqué nulle part dans l'étude de Schultz que celui-ci ait effectué un ajustement pour éviter que l'asymétrie fluctuante ne soit prise comme de l'asymétrie biologique significative, comme c'est le cas dans la présente étude. Cette asymétrie fluctuante aurait donc pu augmenter le nombre d'individus asymétriques.

Toujours chez le gorille, un résultat inattendu est l'asymétrie de longueur maximale de la clavicule qui favorise le côté gauche, au niveau populationnel, tout

comme chez l'humain. On se serait attendu à ce que cette asymétrie soit répartie entre les deux côtés au niveau de chaque individu, comme c'est le cas chez le chimpanzé, puisque que cela concorderait avec les résultats des études sur la latéralité chez les grands singes. Comme l'asymétrie de longueur maximale de la clavicule est répartie entre les deux côtés du corps, il serait normal que celle-ci ne soit pas dominante d'un côté au niveau de la population tel qu'observé chez le chimpanzé. On est donc en droit de se demander si ces ressemblances entre l'échantillon de gorilles et l'échantillon humain sont des coïncidences, surtout que chez les gorilles, la symétrie croisée n'est pas présente. Bien sûr, l'échantillon de gorilles, tout comme les deux autres, n'est pas très grand. Il faut donc être conscient que les échantillons peuvent ne pas être représentatifs de la population normale de chaque espèce. Il faudrait donc que cette similarité entre gorilles et humains soit explorée plus en détails et avec un plus grand échantillon pour déterminer si elle est réelle ou simplement due au hasard.

La présente étude a aussi permis de découvrir que la clavicule droite humaine était plus courbée que la gauche, surtout lorsque la courbure latérale est mesurée sans l'insertion du deltoïde. Comme on l'a mentionné dans le cadre conceptuel, l'insertion du deltoïde sur la tubérosité deltoïdienne de l'humérus présente une asymétrie favorisant le côté droit. On peut donc penser que si l'insertion est plus proéminente sur l'humérus droit que sur le gauche, son origine sur la face antérieure de la courbure latérale de la clavicule sera plus marquée sur la droite que sur la gauche. Bien que le test de t effectué entre la différence de courbure latérale originale et la différence de courbure latérale sans deltoïde ne soit pas significatif, une tendance a été décelée, ce qui suggère que la différence de courbure latérale originale serait plus petite que la

différence de courbure latérale sans deltoïde. On peut donc soupçonner que la variabilité de forme et de grosseur de l'insertion musculaire du deltoïde masque une plus grande différence de courbure latérale réelle. Il faudrait donc mesurer l'insertion du deltoïde à l'aide d'une méthode plus précise pour confirmer ou infirmer cette tendance. Cette hypothèse est aussi appuyée par le fait que la corrélation et la signification des régressions faites entre la différence de longueur maximale et la différence de courbure latérale de la clavicule sont plus élevées quand les courbures latérales sont mesurées sans l'insertion du deltoïde. Un autre argument qui appuie cette hypothèse est que seuls les humains démontrent cette tendance. Les mêmes régressions faites sur les échantillons de chimpanzés et de gorilles sont clairement non significatives. Ceci concorde avec le fait que les activités quotidiennes chez les grands singes sont plus réparties entre les deux côtés du corps. Les insertions du deltoïde droite et gauche sont donc moins différentes entre elles chez les grands singes que chez l'humain. L'insertion du deltoïde n'étant pas tellement plus grosse d'un côté que de l'autre, elle ne viendrait pas masquer d'un côté plus que de l'autre une courbure réelle plus arquée. Les différences de courbure latérale originale et sans deltoïde sont donc moins distinctes chez les grands singes.

La tendance décelée est donc conforme aux prévisions, c'est-à-dire à une différence de courbure latérale plus grande une fois l'insertion du deltoïde écartée. Cette méthode permet de corriger un biais qui sous-estime l'asymétrie entre les courbures latérales des clavicules droite et gauche puisqu'on enlève l'effet sur la courbure de la morphologie de cette insertion qui pourrait masquer une courbure réelle plus arquée.

Dans une autre perspective, les régressions effectuées entre la différence de longueur maximale et la différence de courbure de la clavicule confirment que la courbure latérale de la clavicule influence la longueur maximale de celle-ci. Plus la courbure latérale de la clavicule influence la longueur maximale de celle-ci. Plus la clavicule d'un côté est arquée relativement à celle de l'autre côté, plus la clavicule de ce même côté est courte relativement à celle de l'autre côté. À cause d'une courbure plus arquée, généralement la clavicule droite paraît plus courte que la gauche. Si on étirait les clavicles droite et gauche pour former une ligne, la droite pourrait être de la même longueur que la gauche ou même possiblement plus longue. C'est donc ce phénomène qui pourrait expliquer, du moins en partie, la symétrie croisée de longueur entre la clavicule gauche et le membre supérieur droit chez l'humain.

Aussi, si généralement la clavicule droite paraît plus courte que la gauche à cause d'une courbure plus arquée, cela rejoint l'hypothèse de Parsons (1916) et de Ljunggren (1979) à l'effet que les charges imposées pourraient provoquer une compression qui s'exprimerait par des courbures plus arquées du côté dominant, bien que cette explication ait été réfutée par Mays *et al.* (1999). Tel que mentionné dans le cadre conceptuel, la méthode utilisée par Mays *et al.* (1999) pour mesurer les courbures de la clavicule comportait des problèmes d'interprétation fonctionnelle. La méthode utilisée rendait les courbures médiale et latérale interdépendantes et la morphologie de l'insertion du deltoïde affectait directement la mesure de la courbure, ce qui pouvait biaiser les résultats. Il est évident que la méthode utilisée lors de la présente étude n'est pas parfaite non plus. La méthode d'Olivier (1951), utilisée ici, ne mesure pas les courbures médiale et latérale de façon totalement indépendante. L'auteur de cette méthode affirme que « chaque courbure est dissociée de l'autre [et

qu'] elle n'en dépend que lorsque cette autre varie beaucoup » (Olivier, 1951, p.758). Or, dans l'étude présente, la courbure latérale originale varie beaucoup en fonction de la forme et de la grosseur de l'insertion du deltoïde. La courbure médiale est donc dépendante de cette variabilité et cela se ressent lors des régressions. Cependant, comme les régressions entre les différences de longueur maximale et de courbure médiale se sont avérées non significatives pour les courbures originales comme pour les courbures sans deltoïde, ce biais ne change pas les résultats de l'étude.

Cependant, le fait que la corrélation entre les différences de courbure latérale et de longueur maximale de la clavicule soit significative chez l'humain, mais pas chez les grands singes sème le doute sur l'interdépendance de ces deux phénomènes. En effet, chez les grands singes, les courbures de la clavicule n'influencent pas la longueur maximale de celle-ci. Ni la corrélation entre les différences de courbure médiale et de longueur maximale ni celle entre les différences de courbure latérale et de longueur maximale ne sont significatives. En outre, comme la distribution de l'asymétrie de courbure et de l'asymétrie de longueur de la clavicule est semblable chez les grands singes et chez l'humain et que la corrélation entre les deux n'est pas significative, on est porté à croire que les deux phénomènes sont indépendants chez l'humain.

Un point qui pourrait expliquer que les courbures de la clavicule influencent la longueur maximale de celle-ci chez les humains et pas chez les grands singes est que la plus grande différence de courbure chez les grands singes réside plutôt dans les courbures verticales que dans les courbures horizontales. Les grands singes possèdent



deux courbures verticales bien marquées, alors que l'humain n'en possède qu'une seule habituellement assez légèrement arquée. Ces courbures verticales n'ont pu être étudiées dans le cadre de ce mémoire, mais Voisin les a déjà analysées (2006). Le chimpanzé et le gorille sont alors semblables, alors que l'humain est dans un groupe à part avec des courbures verticales moins marquées. Ces courbures verticales influencent probablement aussi la longueur maximale de la clavicule chez les grands singes. Comme elles sont plus importantes que chez l'humain, si elles étaient prises en considération, peut-être verrait-on apparaître une corrélation inverse entre la différence de courbure de la clavicule et la différence de longueur telle qu'observée chez les humains. On sait que l'os répond aux charges qui lui sont imposées en se remodelant et, par conséquent, en modifiant sa forme et sa densité. En effet, la forme et la densité se transforment et prennent la configuration la plus efficace pour résister aux forces mécaniques. Comme les humains et les grands singes ont des postures différentes et des activités quotidiennes distinctes, les forces mécaniques ne proviennent pas des mêmes directions dans les deux groupes. Les os ont, par conséquent, des réactions différentes et peuvent prendre des formes différentes pour résister le mieux possible à ces charges. Une de ces différences de forme est la courbure verticale plus prononcée chez les grands singes que chez les humains. On sait qu'une compression de la ceinture scapulaire dans le plan transversal et/ou sagittal peut amener un changement de forme de la clavicule qui se traduit par des courbures horizontales plus arquées. Alors, une compression dans un plan perpendiculaire, c'est-à-dire longitudinal, peut peut-être amener la même réaction de la clavicule, mais au niveau des courbures verticales. Les grands singes sont plus sujets à subir ce genre de compression que les humains, à cause de leur mode de vie

plus arboricole. Si les courbures verticales étaient prises en compte au même titre que les courbures horizontales, peut-être alors découvrirait-on chez les grands singes une corrélation plus semblable à celle démontrée chez l'humain, c'est-à-dire une plus grande corrélation entre les différences de courbure et de longueur maximale de la clavicule.

Une conclusion importante de cette étude est que la différence de courbure et celle de longueur maximale de la clavicule sont corrélées chez les humains. Par contre, ce qui reste incertain est la question de savoir si ces deux phénomènes sont dépendants l'un de l'autre. Est-ce vraiment parce que la clavicule est plus courbée qu'elle est plus courte ou est-ce que les deux phénomènes sont indépendants ? La différence de courbure entre les clavicules droite et gauche explique-t-elle la différence de longueur maximale ? Par conséquent, explique-t-elle, au moins en partie, la symétrie croisée entre la clavicule et le membre supérieur dominant ? Il faudrait pour ce faire que la différence entre les courbures correspondent étroitement à la différence de longueur maximale. De plus, on s'attendrait alors à des résultats similaires chez les grands singes et chez les humains. Il est probablement utopique de penser que ce phénomène soit aussi simple. Comme il a déjà été dit, d'autres facteurs influencent la morphologie et la longueur de la clavicule et tous les identifier précisément est, pour l'instant, impossible. Il serait par contre intéressant d'explorer les facteurs qui peuvent modifier les courbures de la clavicule tels que le type de charge, les directions de ces charges, leurs fréquences, etc.

Pour confirmer les déductions faites à partir de ce mémoire et surtout à partir des résultats obtenus chez les humains, les analyses à faire les plus appropriées seraient sans doute de mesurer les courbures verticales chez les humains comme chez les chimpanzés et les gorilles.

## VII. BIBLIOGRAPHIE

Abbot, L.C. & Lucas, D.B. 1954, « The function of the clavicle », *Annals of Surgery*, vol. 140, p.583-597.

Arkin, A.M. & Katz, J.F. 1956, « The effects of pressure on epiphyseal growth », *Journal of Bone and Joint Surgery*, vol. 38-A, p.1056-1076.

Aruguete, M.S., Ely, E.A. & King, J.E. 1992, « Laterality in spontaneous motor activity of chimpanzees and squirrel monkeys », *American Journal of Primatology*, vol. 27, p.177-188.

Auerbach, B.M. & Raxter, M.H. 2008, « Patterns of clavicular bilateral asymmetry in relation to the humerus : variation among humans », *Journal of Human Evolution*, vol. 54, p.663-674.

Auerbach, B.M. & Ruff, C.B. 2006, « Limb bone bilateral asymmetry : variability and commonality among modern humans », *Journal of Human Evolution*, vol. 50, p.203-218.

Collins, E.H. 1961, « The concept of relative limb dominance », *Human Biology*, vol. 33, p.293-317.

Etcharry, B.F. 1999, « Lobe frontal et motricité », In : *Neuropsychologie des lobes frontaux*, Solal, Marseille, 379 p.

Harrington, M.A., Keller, T.S., Seiler, J.G, Weikert, D.R, Moeljantos, E. & Schwartz, H.S. 1993, « Geometric properties and the predicted mechanical behavior of adult human clavicles », *Journal of Biomechanics*, vol. 26, p.417-426.

Hawkey, D.E. 1998, « Disability, compassion and the skeletal record: Using musculoskeletal stress markers (MSM) to construct an osteobiography from Early New Mexico », *International Journal of Osteoarchaeology*, vol. 8, p.326-340.

Hopkins, W.D. & Morris, R.D. 1993, « Handedness in great apes: a review of findings », *International Journal of Primatology*, vol. 14, p.1-25.

Huggare, J. & Houghton, P. 1995, « Asymmetry in the human skeleton. A study on prehistoric Polynesians and Thais », *European Journal of Morphology*, vol. 33, p.3-14.

Jones, H.H., Priest, J.D., Hayes, W.C., Tichenor, C.C. & Nagel, D.A. 1977, « Humeral hypertrophy in response to exercise », *Journal of Bone and Joint Surgery*, vol. 59, p.204-208.

Ljunggren, A.E. 1979, « Clavicular function », *Acta Orthopaedica Scandinavia*, vol. 50, p.261-268.

Lonsdorf, E.V. & Hopkins, W.D. 2005, « Wild chimpanzees show population-level handedness for tool use », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 102, p.12634-12638.

Mays, S., Steele, J. & Ford, M. 1999, « Directional asymmetry in the human clavicle », *International Journal of Osteoarchaeology*, vol.9, p.18-28.

Nordin, M. & Frankel, V.H. 2001, « Biomechanics of bone », in: *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System*, M. Nordin & V.H. Frankel (éd), Lippincott Williams & Wilkins, 3<sup>e</sup> édition, Philadelphie, p.26-55.

Olivier, G. 1955, « Anthropologie de la clavicule », *Bulletins et Mémoires de la Société Anthropologique de Paris*, 10<sup>e</sup> série, vol. 6, p.290-302

Olivier, G. 1951, « Anthropologie de la clavicule », *Bulletins et Mémoires de la Société Anthropologique de Paris*, 10<sup>e</sup> série, vol. 2, p. 67-99 et p.121-157

Olivier, G. 1951, « Techniques de mesures des courbures de la clavicule », *Comptes Rendus de l'Association des Anatomistes*, 38<sup>e</sup> réunion, Nancy, p.753-764.

Olivier, G. & Capliez, S. 1957, « Anthropologie de la clavicule », *Bulletins et Mémoires de la Société Anthropologique de Paris*, 10<sup>e</sup> série, vol. 8, p.225-261.

Olivier, G., Chabeuf, M. & Lалуque, P. 1954, « Anthropologie de la clavicule », *Bulletins et Mémoires de la Société Anthropologique de Paris*, 10<sup>e</sup> série, vol. 5, p. 35-46 et p.144-153.

Parsons, F.G. 1916, « On the proportions and characteristics of the modern English clavicles », *Journal of Anatomy*, vol. 51, p.71-93.

Platzer, W. 2001, *Atlas de poche d'anatomie : 1. Appareil locomoteur*, Médecine-Sciences Flammarion, 3<sup>e</sup> édition, Paris, 461 pages.

Plato, C.C, Fox, K.M. & Garruto, R.M. 1984, « Measures of lateral function dominance: Hand dominance », *Human Biology*, vol. 56, p.259-275.

Ray, L.J. 1959, « Metrical and non-metrical features of the clavicle of the Australian aboriginal », *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 17, p.217-226.

Renfree, K.J. 2003, « Anatomy and biomechanics of the acromioclavicular and sternoclavicular joints », *Clinics in Sports Medicine*, vol. 22, p.219-237.

Scherrer, B. 1984, *Biostatistique*, Gaétan Morin éditeur, Boucherville, 850 pages.

Scheuer, L. & Black, S. 2000, *Developmental Juvenile Osteology*, Elsevier academic press, London, 587 pages.

Schulter-Ellis, F.P. 1980, « Evidence of handedness on documented skeletons », *Journal of Forensic Sciences*, vol. 25, p.624-630.

Schultz, A.H. 1937, « Proportions, variability and asymmetry of the long bones of the limbs and the clavicles in man and apes », *Human Biology*, vol. 9, p.281-328.

Sellards, R. 2004, « Anatomy and biomechanics of the acromioclavicular joint », *Operative Techniques in Sports Medecine*, vol. 12, p.2-5.

Steele, J. & Mays, S. 1995, « Handedness and directional asymmetry in the long bones of the human upper limb », *International Journal of Osteoarchaeology*, vol. 5, p.39-49.

Stirland, A.J. 1993, « Asymmetry and activity-related change in the male humerus », *International Journal of Osteoarchaeology*, vol. 5, p.105-113.

Terry, R.J. 1932, « The clavicle of the American Negro », *American Journal of Physical Anthropology*, vol.16, p.351-379.

Trinkaus, E., Churchill, S.E. & Ruff, C.B. 1994, « Postcranial robusticity in *Homo*. II: Humeral asymmetry and bone plasticity », *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 93, p.1-34.

Voisin, J. 2008, « The Omo I hominin clavicle: Archaic or modern? », *Journal of Human Evolution*, vol. 55, p.438-443.

Voisin, J. 2006, « Clavicle, a neglected bone: morphology and relation to arm movements and shoulder architecture in primates », *The Anatomical Record Part A*, vol. 288A, p. 944-953.

Voisin, J. 2001, « Évolution de la morphologie claviculaire au sein du genre *Homo*. Conséquences architecturales et fonctionnelles sur la ceinture scapulaire », *L'Anthropologie*, vol. 105, p.449-468.

Von Bonin, G. 1962, « Anatomical asymmetries of the cerebral hemispheres », In: *Interhemispheric Relations and Cerebral Dominance* (édité par V.B. Mountcastle), Johns Hopkins Press, p.81-97.

White, L.E., Lucas, G. Richards, A. & Purves, D. 1994, « Cerebral asymmetry and handedness », *Nature*, vol. 368, p.196-197.

White, T.D & Folkens, P.A. 2000, *Human Osteology*, 2e edition, Academic Press, Elsevier, 563 p.



## ANNEXE I

A) Tableau XVIII. Comparaison des espèces: statistiques descriptives des os longs du membre supérieur

		Longueur maximale (mm)					
		Côté droit			Côté gauche		
Os	Espèce	Moyenne	Écart-type	N	Moyenne	Écart-type	N
Clavicule	Humain	136,61	10,22	70	138,59	9,57	70
	Chimpanzé	126,96	7,77	28	126,80	9,72	28
	Gorille	150,44	21,77	32	152,66	20,66	32
Humérus	Humain	298,39	17,37	68	292,40	17,03	68
	Chimpanzé	305,31	10,90	26	303,90	11,47	28
	Gorille	401,95	39,45	31	391,90	38,86	31
Ulna	Humain	228,30	12,72	60	225,80	12,40	59
	Chimpanzé	288,31	15,04	23	286,73	15,80	25
	Gorille	335,79	33,79	31	334,56	33,95	32
Radius	Humain	208,31	12,81	44	207,13	27,57	62
	Chimpanzé	281,44	14,13	22	279,71	15,84	25
	Gorille	323,00	31,92	29	322,48	33,30	30

B) Tableau XIX . Comparaison des espèces : statistiques descriptives des courbures de la clavicule

		Clavicule droite			Clavicule gauche		
		Moyenne	Écart-type	N	Moyenne	Écart-type	N
Courbure	Espèce						
Indice de courbure médiale originale	Humain	10,38	2,54	70	8,11	2,92	70
	Chimpanzé	9,72	2,89	28	10,82	2,70	28
	Gorille	2,89	2,21	32	3,23	2,14	32
Indice de courbure latérale originale	Humain	16,07	3,07	70	16,88	3,56	70
	Chimpanzé	19,39	4,42	28	19,95	3,60	28
	Gorille	13,66	4,05	32	14,98	3,21	32
Indice de courbure médiale sans deltoïde	Humain	11,01	2,57	70	8,71	2,95	70
	Chimpanzé	10,40	3,02	28	11,55	2,88	28
	Gorille	3,62	2,31	32	4,09	2,19	32
Indice de courbure latérale sans deltoïde	Humain	17,87	3,28	70	18,40	3,57	70
	Chimpanzé	21,31	4,80	28	22,00	4,23	28
	Gorille	15,95	4,49	32	17,51	3,63	32