

Université de Montréal

Ontogénie de l'asymétrie des métacarpes :  
étude de la plasticité osseuse

Par  
Dominique Tessier

Département d'anthropologie  
Faculté des Arts et Sciences

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

Août 2017

© Dominique Tessier, 2017

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :  
Ontogénie de l'asymétrie des métacarpes :  
étude de la plasticité osseuse

Présenté par :  
Dominique Tessier

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Isabelle Ribot  
président-rapporteur

Michelle Drapeau  
directrice de recherche

Christian Gates St-Pierre  
membre du jury

## RÉSUMÉ

Lors de l'évolution de la lignée hominine, la main changea de fonction, passant de la locomotion à la manipulation exclusive. Ceci permettra le développement de la latéralité manuelle, 90% de la population mondiale actuelle favorisant l'usage de la main droite et l'autre 10% la main gauche. Les études comportementales ont documenté les stades par lesquels un enfant passera lors de l'acquisition de la préférence manuelle. Cependant, les effets des charges mécaniques provoqués par la manipulation sur le modelage osseux restent encore peu documentés, résultant en une mauvaise compréhension de l'ontogénie de l'asymétrie des métacarpes. Ce mémoire a donc pour but d'examiner l'effet des charges mécaniques sur la plasticité du tissu osseux des trois premiers métacarpiens, qui sont fortement sollicités lors de la préhension.

L'échantillon de recherche est constitué de 36 individus, provenant de deux collections ostéologiques euro-canadiennes, subdivisées en 5 catégories d'âge : soit 0 à 1 an (n=10), 1 à 4 ans (n=11), 5 à 10 ans (n=5), 16 à 20 ans (n=4), et 20 à 45 ans (n=6, 3 femmes et 3 hommes). À partir d'images d'analyses en coupe prises à la mi-diaphyse, les variables CSA, Imin, Imax, J, Imax/Imin et Theta furent mesurées afin de quantifier l'asymétrie au sein de chaque groupe d'âge, et ce par métacarpe.

Les résultats pour les variables CSA, Imin, Imax, J et Theta n'ont pu démontrer une asymétrie directionnelle au sein des groupes d'âge. De plus, aucun âge précis ne pu être déterminé afin de marquer le début du développement différentiel lors du modelage osseux pour ces mêmes variables. Cependant, un changement de forme (Imax/Imin) pour le premier et troisième métacarpe démontre un développement plus précoce du côté gauche, lorsque le processus de modelage est présent. Il fut constaté dans le cas du premier métacarpien que l'âge où le changement de forme est le plus significatif se situe entre 7 et 10 ans et pour le troisième métacarpien entre 2 et 5 ans. En conclusion, la variable Imax/Imin (forme osseuse) semble être celle qui permet de mieux mesurer la réponse plastique de l'os face aux charges mécaniques lors du modelage osseux.

**Mots-clés :** Ontogénie, métacarpes, asymétrie, plasticité osseuse, modelage osseux

## ABSTRACT

During human evolution, the function of the hand changed from locomotion to exclusive manipulation, allowing the development of handedness, 90% of the today's world populations preferring to use the right hand and the other 10% the left. Behavioural studies have documented the stages during which a child will acquire handedness. However, the effects of the mechanical strains induced by manipulation on the modelling of the bone structure remain poorly documented. This results in a poor understanding of the ontogeny of metacarpal asymmetry. Therefore, we aims to examine the effects of the mechanical charges on the bone tissue plasticity of the first three metacarpals, as these are key actors much solicited during manipulation.

The sample consists of 36 individuals from two osteological collections of Euro-Canadians, divided into five age groups such as: from 0-1 years (n=10), 1-4 (n=11), 5-10 years (n=5), 16-20 years (n=4), and 20-45 years (n=6 , 3 females and 3 males). Based on analyses of CT-images taken from the midshaft, the variables CSA, Imin, Imax, J, Imax/Imin, and Theta were measured to quantify the asymmetry for each metacarpal associated with each age group.

The results for the variables CSA, Imin, Imax, J, Imax/Imin and Theta did not demonstrate a directional asymmetry on the right side and no precise age group was correlated to the beginning of the differential development for the variables CSA, Imin, Imax, J, et Theta. However, a significant change in the shape (Imax/Imin) of the first and third metacarpals demonstrates an early development on the left side during the modelling process of the bone structure. The age at which there is a drastic shape change is between 7 and 10 years old, and for the third metacarpal between 2 and 5 years. In conclusion, the variable Imax/Imin (bone shape) appears to be the best one to measure the plasticity in a better way the plasticity of bone modelling under the effects of mechanical charges.

**Key words** - Ontogeny, metacarpals, asymmetry, bone plasticity, bone structure

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>ix</b>
<b>GLOSSAIRE</b> .....	<b>x</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>xi</b>
<b>CHAPITRE 1 : INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 2 : CADRE THÉORIQUE ET</b> .....	<b>4</b>
<b>HYPOTHÈSES DE RECHERCHE</b> .....	<b>4</b>
2.1. Anatomie et physiologie de l'os.....	4
2.1.1. Cellules osseuses .....	5
2.1.2 Formation osseuse.....	6
2.2 L'adaptation biomécanique .....	9
2.2.1 Architecture osseuse : le modelage .....	10
2.3 La main humaine .....	12
2.3.1 Morphologie de la main .....	13
2.5 L'ontologie de la manipulation.....	17
2.6 Le concept d'asymétrie .....	19
2.6.1 Type d'asymétrie .....	19
2.6.2 Facteurs d'influence .....	20
2.7 L'étude de l'asymétrie des métacarpes : historique .....	23
2.7 Problématique .....	27
2.7.1 Question et hypothèses de recherche .....	27
<b>CHAPITRE 3 : MATÉRIELS ET MÉTHODES</b> .....	<b>29</b>
3.1 Description du matériel de recherche .....	29
3.1.2 Analyse ostéologique des collections de Sainte-Marie de Beauce et de Pointe- aux-Trembles.....	30
3.1.3 Cimetière euro-canadien de Sainte-Marie de Beauce .....	32
3.1.4 Cimetière euro-canadien de Pointe-aux-Trembles.....	33

3.1.5 Le mode de vie en Nouvelle-France, le cas de l'enfance.....	35
3.1.6 Collecte préliminaire.....	37
3.2 Méthodes .....	38
3.2.1 Collecte de données.....	38
3.2.2 Acquisition des images pour l'analyse en coupe.....	38
3.3 Traitement des données .....	41
<b>CHAPITRE 4 : RÉSULTATS .....</b>	<b>44</b>
4.1 La mise en place ontogénique de l'asymétrie .....	44
4.1.1 Résultats significatifs des variables CSA, Imin, Imax, J et Imax/Imin .....	44
4.1.2 Résultats significatifs pour la variable Theta .....	46
4.2 La mise en place ontogénique de la forme (unilatérale) .....	47
4.2.1 Ontogénie de la forme du 1 <sup>er</sup> métacarpe.....	47
4.2.2 Ontogénie de la forme du 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> métacarpe.....	48
4.3 Résumé des résultats .....	49
<b>CHAPITRE 5 : DISCUSSION .....</b>	<b>53</b>
5.1 Discussion générale.....	53
5.2 Ontogénie de l'asymétrie des trois premiers métacarpes .....	54
5.2.1 Le cas des asymétries croissantes et décroissantes .....	55
5.2.2 Le stade d'apparition de l'asymétrie.....	60
5.3 Ontologie de la forme des trois premiers métacarpes .....	61
<b>CHAPITRE 6 : CONCLUSION.....</b>	<b>66</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>70</b>

## LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 COMPARAISON DES DIFFÉRENTS TYPES DE CELLULES OSSEUSES (MODIFIÉE DE MARIEB ET HOEHN, 2010) .....	5
FIGURE 2 OSSIFICATION ENDOCHONDRALE D'UN OS LONG (MODIFIÉE DE MARIEB ET HOEHN, 2010) .....	7
FIGURE 3 SCHÉMATISATION DE LA RÉPONSE OSSEUSE AUX CHARGES EXOGÈNES (MODIFIÉE DE PEARSON ET LIEBERMAN, 2004) .....	10
FIGURE 4 MODÈLE DE RUFF ET COLLÈGUES (1994) SUR L'ONTOGÉNIE DES CHARGES LORS DE LA RÉPONSE OSSEUSE EN PÉRIODE DE MODELAGE. (MODIFIÉE DE PEARSON ET LIEBERMAN, 2004) .....	11
FIGURE 5 SCHÉMATISATION DU CYCLE DE REMODELAGE OSSEUX (MODIFIÉE DE REY, 2015).....	12
FIGURE 6 ANATOMIE DE LA MAIN DROITE (MODIFIÉE DE MARIEB ET HOEHN, 2010)	14
FIGURE 7 A) VUE DORSALE DES MÉTACARPES DROITS (IND. :2B8) B) VUE PALMAIRE DES MÉTACARPES DROITS (IND. :2B8) C) VUE MÉDIALE DES MÉTACARPES DROITS (IND. :2B8) D) VUE LATÉRALE DES MÉTACARPES DROITS (IND. :2B8) E) STADE DE CROISSANCE MAIN GAUCHE 1 AN À DROITE (IND. : 2E5) ET 4 ANS À GAUCHE (IND. : 2E7) (TESSIER, 2017).....	15
FIGURE 8 TYPE DE MANIPULATION. A : POIGNE D'OPPOSITION « THREE-JAW GRIP ». B : POIGNE À DEUX DOIGTS COUSSINET À COUSSINET « PAD-TO-PAD » C : POIGNE D'IMPRÉCISION « PAD-TO-SIDE ». (TESSIER, 2017).....	17
FIGURE 9 VUES ANTÉRO-POSTÉRIEURE (AP) ET MÉDIO-LATÉRALE (ML) DU DEUXIÈME MÉTACARPE, MONTRANT LA LONGUEUR INTER-ARTICULAIRE (IAL) ET LE SITE AU MILIEU DE LA DIAPHYSE OÙ A ÉTÉ FAITE LA PRISE D'IMAGE D'ANALYSE EN COUPE. ILLUSTRATION MODIFIÉE DE LAZENBY, 1998. ....	40

FIGURE 10 IMAGE D'ANALYSE EN COUPE TRANSVERSALE. A) IMAGES PROVENANT DU CT-SCAN B) IMAGES TRAITÉES AVEC LE LOGICIEL IMAGEJ AFIN DE SÉLECTIONNER UNIQUEMENT LA MASSE OSSEUSE. ....	41
FIGURE 11. GRAPHIQUE REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS D'ASYMÉTRIE ABSOLUES DE LA VARIABLE THETA DÉMONTRANT UN CHANGEMENT D'ASYMÉTRIE POUR LES TROIS PREMIERS MÉTACARPES. ....	50
FIGURE 12 GRAPHIQUE REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE IMAX/IMIN DÉMONTRANT UNE CHANGEMENT DE FORME SIGNIFICATIF POUR LE 1 <sup>ER</sup> ET 3 <sup>E</sup> MÉTACARPIENS GAUCHES.....	50
FIGURE 13 GRAPHIQUE REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE IMAX/IMIN DÉMONTRANT UNE CHANGEMENT DE FORMES SIGNIFICATIF POUR LE 1 <sup>ER</sup> ET 3 <sup>E</sup> MÉTACARPIENS DROITS.....	51
FIGURE 14 GRAPHIQUES REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE IMAX/IMIN DÉMONTRANT UNE CHANGEMENT DE FORME SIGNIFICATIF DU MC1 GAUCHE ET DROIT.....	51
FIGURE 15 GRAPHIQUES REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE IMAX/IMIN DÉMONTRANT UN CHANGEMENT DE FORME SIGNIFICATIF DU MC3 GAUCHE ET DROIT PAR GROUPES D'ÂGE. ....	52



## LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I SYNTHÈSE DES MÉTHODES D'ESTIMATION DE L'ÂGE ET DU SEXE .....	31
TABLEAU II SYNTHÈSE DES INFORMATIONS RELATIVES AUX INDIVIDUS DE L'ÉCHANTILLONS .....	32
TABLEAU III SYNTHÈSE DES PARAMÈTRES ET AJUSTEMENTS APPLIQUÉS AU STRATEC XCT REASEARCH SA+ .....	39
TABLEAU IV SYNTHÈSE DES PARAMÈTRES ET DÉFINITION DES VARIABLES.....	40
TABLEAU V RÉSULTATS DU TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS D'ASYMÉTRIE ABSOLUES DES TROIS PREMIERS MÉTACARPIENS.....	44
TABLEAU VI MOYENNE ET ÉCART-TYPE DES VALEURS D'ASYMÉTRIE ABSOLUES POUR LES CINQ GROUPES D'ÂGE.....	45
TABLEAU VII RÉSULTATS DU TEST U DE MANN-WHITNEY ENTRE LES CINQ GROUPES D'ÂGE POUR LES VARIABLES CSA, IMIN, IMAX, J, IMAX/IMIN ET THETA POUR LES VALEURS D'ASYMÉTRIE ABSOLUES. ....	46
TABLEAU VIII RÉSULTATS DU TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE IMAX/IMIN DES CÔTÉS GAUCHE ET DROIT DES TROIS PREMIERS MÉTACARPIENS.....	47
TABLEAU IX MOYENNE ET ÉCART-TYPE DES VALEURS BRUTES DE IMAX/IMIN DES CÔTÉS GAUCHE ET DROIT POUR LES CINQ GROUPES D'ÂGE. ....	48
TABLEAU X RÉSULTATS DU TEST U DE MANN-WHITNEY ENTRE LES CINQ GROUPE D'ÂGE DE LA VARIABLE IMAX/IMIN POUR LES VALEURS BRUTES DES CÔTÉS GAUCHE ET DROIT.....	49

## GLOSSAIRE

CSA : Résistance à la compression / à la traction.

Imax : Résistance maximale aux forces de flexion

Imin : Résistance minimale aux forces de flexion

Imax/Imin : Indique la non-circularité d'un élément osseux, basé sur la tolérance aux forces de flexion

I : Rigidité aux forces de torsion

MC1 : Premier métacarpien

MC2 : Deuxième métacarpien

MC3 : Troisième métacarpien

Theta : Angle de rotation de l'os en fonction de la résistance maximale aux forces de flexion

## REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier ma directrice de recherche, Dre Michelle Drapeau, je suis reconnaissante de l'opportunité qui m'a été offerte en travaillant sur ce projet de recherche. Merci pour votre disponibilité, votre écoute et vos conseils.

Merci également à toute l'équipe du Laboratoire d'écomorphologie et de paléontologie du Département d'anthropologie de l'Université de Montréal, particulièrement Dre Isabelle Ribot pour l'accès à des collections ostéologiques des plus intéressantes. Merci, au Dre Isabelle Ribot et au Dr Christian Gates St-Pierre, membres du jury, pour vos commentaires sur ce mémoire.

Je remercie mes parents, Andrée et Sylvain de m'avoir supporté tout au long de ma scolarité, merci de croire en moi. Merci, à ma sœur Claudine pour toute cette lecture et ce temps de correction. Un merci spécial à Patrick pour avoir passé à travers avec moi et d'avoir toujours trouver les mots juste afin de me motiver.

Il s'agit d'un magnifique accomplissement, parfois, rempli de découragement, mais surtout rempli d'une grande persévérance qui n'aurait pu être réalisé sans votre soutien.

## CHAPITRE 1 : INTRODUCTION

Chez l'humain, la main se modifia quelque peu de celle des autres primates en raison d'un changement de fonctionnalité axé sur la manipulation, et non, sur la locomotion. L'allongement du pouce, le raccourcissement, le redressement des doigts et la torsion des métacarpes (Drapeau, 2012, et Marzke, 1997) sont quelques exemples de caractéristiques ayant évolué à travers le temps afin de permettre la mise en place d'une manipulation de précision. L'emphase sur la manipulation eut un impact sur la morphologie ainsi que sur la plasticité des structures osseuses de la main.

Bien que la latéralité soit un trait universel à l'être humain, malgré certaines variations observables au sein des populations humaines (Cobalis, 1989), l'asymétrie manuelle est détectée principalement lors de comportements impliquant la manipulation d'objet. La préférence manuelle « handedness » se définit par la relation préférentielle d'une main lors d'un mouvement de bras en direction d'un objet à l'intérieur du champ visuel (Butterworth et Itakura, 1998).

L'existence d'un développement osseux préférentiel pour la main droite a été démontré, et ce peu importe, que l'individu soit droitier ou gaucher. Ce développement inégal transparaît lors d'études sur l'aire totale, l'aire corticale, l'architecture micro-squelettique (trabécules) ainsi que le développement des points d'ossification primaire et secondaire de la main, principalement chez les métacarpes (Baer et Durkatz 1957, Garn et coll., 1976, Trinkaus, 1978). Quelques décennies plus tard, l'axe des recherches changea, Roy et collègues (1994), Fox et collègues (1995) ainsi que Lazenby (1998) sont quelques-uns des chercheurs ayant travaillé à déterminer les causes et la manifestation de l'asymétrie des métacarpiens du au fait qu'il s'agit des os de la paume de la main et qu'ils sont très plastique. Ces recherches se sont principalement intéressés au deuxième métacarpe à cause de son rôle majeur dans la manipulation. En effet, bien que l'asymétrie des métacarpes semble commune, certaines variations, propres à chaque individu, reflètent les différentes charges subies par chacun au cours de son existence. L'implication

des facteurs endogènes (hormonaux et génétiques) et exogènes (socio-environnementaux) sur l'asymétrie des métacarpes est complexe. Sur le même os, ces différentes influences imposeront des contraintes spécifiques à la même structure osseuse (Auerbach et Raxter, 2008). Ainsi, l'analyse de l'asymétrie permet de mieux comprendre comment les facteurs mentionnés ci-dessus peuvent se manifester dans les ossements de populations actuelles et archéologiques. Il ne faut pas oublier que l'asymétrie est le meilleur reflet de la latéralisation des comportements humains (Auerbach et Raxter, 2008, Kanchan et coll., 2008). En effet, l'étude de ce trait permet aux paléontologues de mieux comprendre l'évolution de l'asymétrie, son intensité, mais aussi il s'agit de mieux comprendre l'intensité des activités de manipulations des populations passées. Plusieurs études se sont penchées sur le sujet dans le but de reconstruire divers comportements des différentes populations du passé et mieux cerner les fonctions adaptatives et plastiques de l'os à travers la vie d'un individu (Ruff et Jones, 1981, Ruff et Hayes, 1988, Trinkaus et coll., 1994). D'un point de vue davantage socio-environnemental, Kanchan et collègues (2008) mirent de l'avant le lien entre le degré d'asymétrie des différentes parties du corps humain, et la connexion existant avec la structure sociale et les conditions de vie.

Toutefois, plusieurs aspects concernant le développement de la latéralisation osseuse restent sans réponses, tel que l'aspect plastique lors du développement ontogénique de l'asymétrie qui demeure à ce jour incompris ou indéterminé (Blackburn, 2011). L'apport génétique et la plasticité osseuse dans la morphologie d'un trait sont aussi difficiles à établir.

Ce mémoire tentera d'explorer le degré de la plasticité des 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> métacarpes à travers le développement de l'asymétrie grâce à la comparaison de la main droite et gauche chez différents individus à différents stades ontogéniques, et de déterminer si l'asymétrie se corrèle au développement de la manipulation. L'objectif du mémoire est de déterminer à quel stade ontogénique une asymétrie est perceptible et si celle-ci est le reflet d'une préférence manuelle dictant une densité osseuse plus marquée du côté droit.

Afin de démontrer l'aspect plastique du développement ontogénique de l'asymétrie, le prochain chapitre traitera des différentes notions nécessaires à sa compréhension, soit l'anatomie de l'os, la main humaine les concepts de manipulation et d'asymétrie. De plus, un retour historique sur les différentes recherches menées sur le sujet est nécessaire afin de mieux comprendre les lacunes dans nos connaissances et la pertinence de ce mémoire. Ensuite, le troisième chapitre présentera l'aspect méthodologique de la recherche, la présentation et la description de l'échantillon, ainsi que les informations concernant l'acquisition et l'analyse des données. Le quatrième chapitre portera sur les résultats obtenus tandis que le cinquième chapitre sera constitué d'une discussion portant sur la signification des résultats de la présente recherche. Pour clore ce mémoire, une conclusion et les avenues futures de recherche seront abordées.

## **CHAPITRE 2 : CADRE THÉORIQUE ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE**

### **2.1. Anatomie et physiologie de l'os**

Les métacarpes sont composés chimiquement de 25 % de matière organique dont 80 % sont des fibres de collagène de type 1, protéine donnant sa flexibilité et sa souplesse à l'os, et 20 % sont des protéoglycanes et des glycoprotéines, variété de protéines non collagène intervenant dans la régulation de la minéralisation osseuse assurant dureté et robustesse (Marieb et Hoehn, 2010, Platzer, 2007). Les principaux constituants inorganiques du tissu osseux sont des sels minéraux, soit le phosphate de calcium et de magnésium, et le carbonate de calcium. L'interaction des différentes composantes forme la matrice extracellulaire de l'os qui change durant la vie d'un individu en réponse à différents facteurs et aux différentes composantes affectées. Par exemple, les sels minéraux constituent la structure dure et résistante de l'os, toutefois une carence en vitamine D peut diminuer la calcification de l'os et entraver la ténacité ainsi que la masse osseuse. La proportion entre les matières organiques et inorganiques de l'os change également. En effet, la proportion de sels minéraux est d'environ 50 % chez les nouveau-nés et augmente jusqu'à 70 % chez les individus plus âgés. Ceci démontre une certaine perte d'élasticité et de flexibilité de l'os réduisant sa tolérance aux chocs (Platzer, 2007).

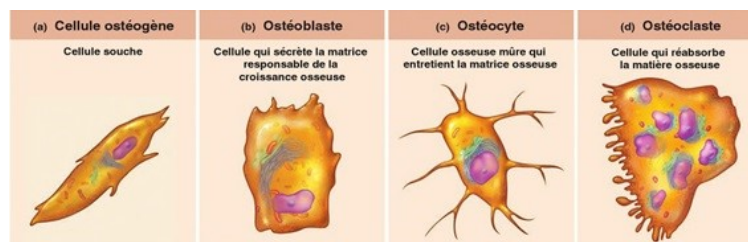
On retrouve chez les métacarpes deux types d'os, à commencer par l'os cortical (ou os compact) que l'on retrouve principalement au niveau de la diaphyse des os longs. Contrairement à l'os cortical, l'os spongieux (ou os trabéculaire) est constitué de travée au niveau des épiphyses; il s'agit de minuscules éléments osseux, appelées trabecules, placés de façon précise afin de permettre à l'os de mieux résister aux charges (Marieb et Hoehn, 2010). Que ce soit de l'os cortical ou de l'os spongieux, microscopiquement le tissu osseux est divisé en deux groupes distincts : l'os réticulaire et l'os lamellaire (ou haversien). L'os réticulaire est retrouvé principalement chez les enfants puisque celui-ci est déposé lors de

la transformation de tissus conjonctifs. Chez l'adulte, ce type de tissu n'est observé que lors de la réparation de fractures et près des sutures crâniennes. Il est composé de couches de fibrilles désorganisées. L'os lamellaire est composé d'une superposition de couches de fibrilles collagènes concentriques, appelées lamelles, et d'ostéocytes. Il s'agit du type d'os le plus fréquent et le plus résistant. Sa formation est dépendante de la force exercée sur l'os, la déposition des couches osseuses est donc lente (Marieb et Hoehn, 2010, Platzer, 2007, et Surrey, 2002). Ce mémoire étudiera l'os compact, puisque celui-ci est facilement observable au niveau de la diaphyse des os longs, tel que le métacarpe, et il a été démontré qu'il répond aux changements de charges externes (Ruff et coll., 1994).

### 2.1.1. Cellules osseuses

On retrouve chez les os longs deux membranes; le périoste et l'endoste, tous deux composés de tissu conjonctif. L'ensemble de la surface externe de l'os, à l'exception des surfaces articulaires, est enveloppée par le périoste, tandis que la surface interne de l'os est recouverte par l'endoste. C'est au sein de ces deux membranes que se développent les diverses cellules nécessaires à l'homéostasie du système osseux (Marieb et Hoehn, 2010). On retrouve quatre cellules permettant la production, le maintien et l'organisation de la matrice extracellulaire : les ostéogènes, les ostéoblastes, les ostéocytes et les ostéoclastes (Marieb et Hoehn, 2010). Ces cellules occupent deux catégories fonctionnelles : celles qui résorbent l'os (ostéoclastes) et celles essentielles à la formation osseuse (ostéogènes, ostéoblastes et ostéocytes) (Martin et coll., 1998).

FIGURE 1 COMPARAISON DES DIFFÉRENTS TYPES DE CELLULES OSSEUSES (MODIFIÉE DE MARIEB ET HOEHN, 2010)





Pour ce mémoire les cellules importantes à la compréhension de la mise en place de l'asymétrie sont les ostéoblastes, puisque celles-ci sont directement liées à la croissance osseuse et donc à la forme finale d'un élément osseux. Les ostéoblastes sécrètent la matrice extracellulaire (Marieb et Hoehn, 2010). Ces cellules mettent en place les ostéoïdes qui sont des accumulations de matrices non minéralisées (fibres de collagène). Elles sont responsables de la calcification de cette matrice. Les ostéoclastes sont importants aussi parce qu'ils résorbent l'os, ce processus est nécessaire lors de la croissance en diamètre de l'os (Marieb et Hoehn, 2010).

### **2.1.2 Formation osseuse**

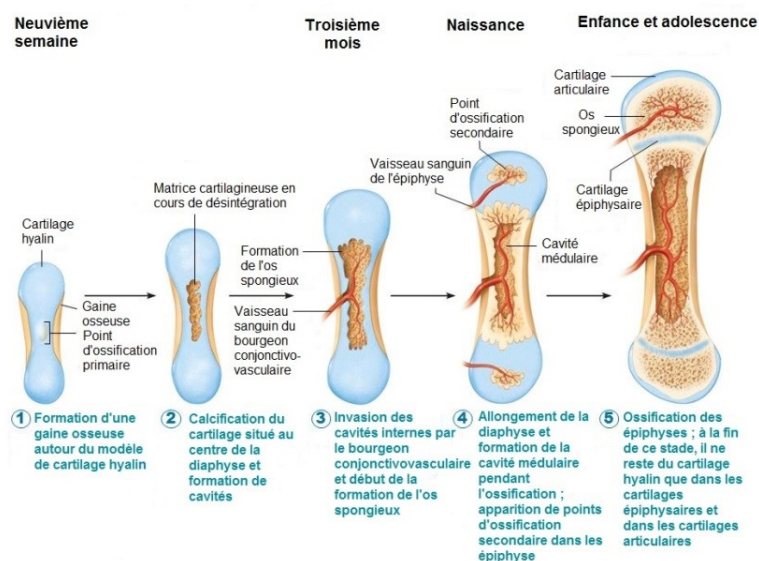
L'ossification ou ostéogénie définit le processus de formation des os. Chez l'embryon, ce processus mène en premier lieu à la formation du système squelettique à partir de tissus conjonctifs, qui sont ensuite ossifiés. Par la suite, la formation fait place à la croissance et au modelage osseux qui se poursuivent jusqu'à l'âge adulte pour ce qui est de la croissance en longueur et ne s'arrête pratiquement jamais pour ce qui est de l'épaisseur (Marieb et Hoehn, 2010). Il y a deux catégories d'ossification: ossification endoconjonctive (ou cartilagineuse) et ossification enchondrale.

1. L'ossification endoconjonctive est le développement d'un os à partir de tissus conjonctifs. Comme les os longs sont recouverts de périoste et d'endoste, c'est le processus par lequel les os peuvent croître et changer de forme en largeur (Platzer, 2007, Marieb et Hoehn, 2010).
2. L'ossification enchondrale permet la croissance osseuse qui persiste tant qu'il y a présence de tissus cartilagineux. Cette ossification suit les différents points d'ossification primaires qui se développent en premier lieu dans les épiphyses (extrémité des os longs), tandis qu'une ossification périchondrale se limite à la diaphyse (partie intermédiaire des os longs) (Platzer, 2007). L'ostéogénèse se termine par une ossification des points d'ossification primaires, laissant place à

des points d'ossification secondaire aux métaphyses, permettant la croissance en longueur de l'os.

Ces processus de croissance se mettent en fonction sous l'influence et la régulation hormonale de l'individu ainsi que les charges mécaniques subies par l'individu lors de sa croissance (Platzer, 2007, Marieb et Hoehn, 2010). Les métacarpes se développent par un point d'ossification primaire pour la diaphyse et l'extrémité proximale, et un point d'ossification secondaire pour l'épiphyse distale (Rouvière et Delmas, 2002). Baer et Durkatz (1957) ainsi que Dreizen et collègues (1957) observèrent une apparition et une maturation différentielle des points d'ossification entre la main droite et la main gauche pour les métacarpes. Les deux études furent réalisées sur des échantillons modernes composées de 450 enfants et l'autre de 474 enfants respectivement âgés entre 1 et 16 ans, sur qui des radiographies de la main droite et gauche furent faites. Ils démontrèrent une ossification plus précoce des centres d'ossification de la main droite, et ce sans tenir compte de la préférence manuelle (droitier ou gaucher) de l'individu. Dreizen et coll. (1957) proposèrent que ceci est le résultat d'une vascularisation et d'une innervation asymétriques. Il semble donc qu'une certaine asymétrie semble être présente, et ce, sans tenir compte des comportements de manipulation, résultat de la composante génétique.

FIGURE 2 OSSIFICATION ENDOCHONDRALE D'UN OS LONG (MODIFIÉE DE MARIEB ET HOEHN, 2010)



### 2.1.3 Fonctions de l'os

Le système osseux, par sa composition, son organisation et sa dynamique assurent plusieurs fonctions (Marieb et Hoehn, 2010) :

– Fonction mécanique : les os constituent la structure rigide du corps humain, lui permettant d'être érigé et d'ancrer tous les organes mous (Marieb et Hoehn, 2010). Cette structure permet l'attachement des différents muscles conduisant à divers mouvements du corps.

– Fonction de protection : le système osseux par sa rigidité et sa robustesse a pour but de recouvrir et de protéger les organes vitaux. Par exemple, le crâne renferme et protège le cerveau tout comme le font les côtes pour le cœur, les viscères et les poumons (Marieb et Hoehn, 2010).

– Fonction métabolique : les tissus osseux sont un réservoir de minéraux (phosphore et calcium). Ceux-ci sont libérés au besoin dans la circulation sanguine afin d'être distribués aux différentes parties de l'organisme et ainsi maintenir l'homéostasie (Marieb et Hoehn, 2010).

– Fonction hématopoïétique : chez l'adulte, la formation de cellules sanguines, ou hématopoïèse, se fait à partir de la cavité médullaire des os qui renferme la moelle osseuse (Marieb et Hoehn, 2010).

D'un point de vue macroscopique, chaque os présente une forme différente afin de répondre à des contraintes et fonctions précises au sein du système squelettique, puisque l'os est conçu pour résister aux différentes charges mécaniques et s'y adapter (Marieb et Hoehn, 2010, Platzer, 2007, Martin et coll., 1998). Les os métacarpiens sont des os longs composés d'un corps (diaphyse) constitué principalement d'os compact, dans lequel se

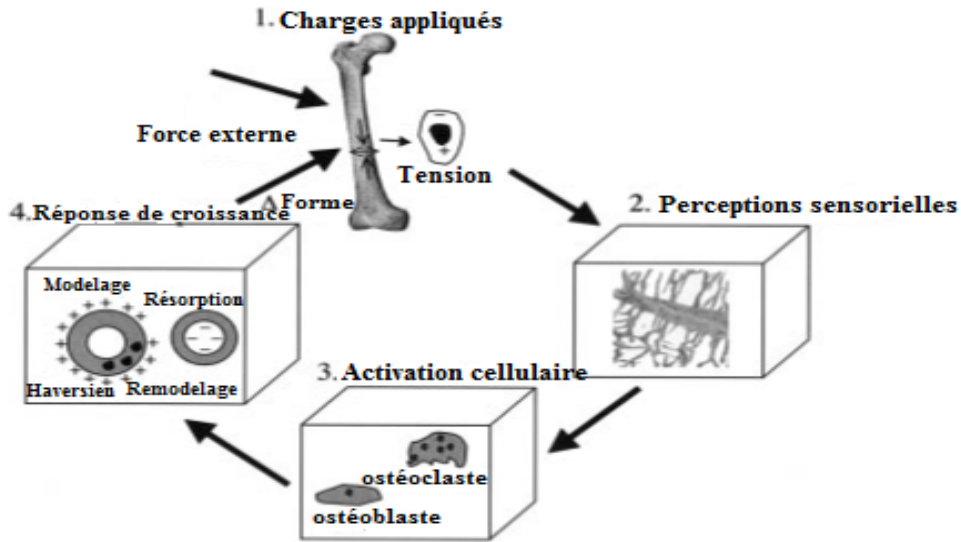
trouve la cavité médullaire, et d'extrémités (épiphyes) formées principalement d'os spongieux.

## **2.2 L'adaptation biomécanique**

Le tissu osseux étant soumis à la loi de Wolff, publié en 1892 (Brand, 2010), il est conçu afin de résister aux charges et stress mécaniques qui viendront modifier leurs structures internes et externes (Lieberman, 1997, Frost, 2002). L'origine de ces contraintes peut être interne, par l'intermédiaire des muscles, tendons et ligaments, ainsi qu'externe provenant des sollicitations environnantes. De plus, l'os est anisotropique, ce qui signifie que sa résistance est différente suivant l'orientation de la force considérée ; ce qui dépend de sa géométrie et de l'orientation des lamelles lors de l'ossification (Petsko et Ringe, 2009). L'os démontre une plus grande force de résistance en compression qu'en tension. Cependant, bien que l'os s'adapte aux charges subies, celui-ci peut quand même subir des microfractures ou des fractures. Lorsqu'un changement dans la résistance de l'os est décelé, le processus de remodelage est enclenché. Trois processus modulent le degré et la nature des changements : la réponse traductionnelle (détection cellulaire d'un stress ou d'une microfracture), la réponse structurelle (changement dans la macrostructure ou la microstructure de l'os) et la contrainte de design (contrainte spatiale qui détermine le type de transformations que va subir l'os).

L'os est parmi les tissus les plus dynamiques du corps humain, ayant la capacité d'ajuster sa forme et sa distribution en réponse aux demandes de l'environnement. Les stress répétitifs sur l'os altèrent sa morphologie et stimulent l'hypertrophie dans le but de répondre à l'augmentation des charges imposées au squelette. La déposition du tissu osseux se fait en fonction de la direction des charges mécaniques (pression ou tension) imposées à un élément osseux; ceci aura comme conséquence l'augmentation ou diminution de la masse osseuse (Blackburn et Knüsel, 2006).

FIGURE 3 SCHÉMATISATION DE LA RÉPONSE OSSEUSE AUX CHARGES EXOGÈNES (MODIFIÉE DE PEARSON ET LIEBERMAN, 2004)



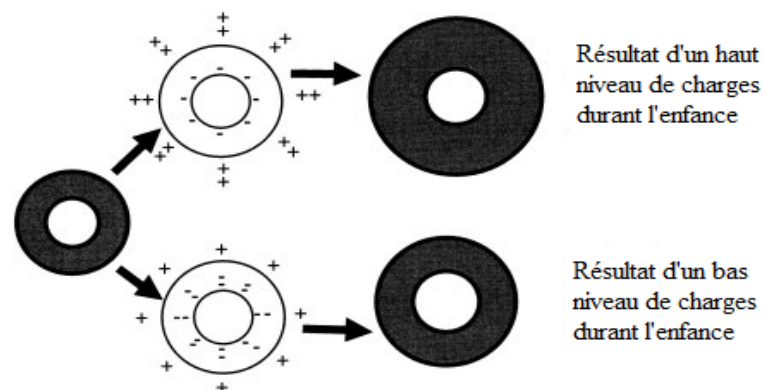
### 2.2.1 Architecture osseuse : le modelage

Le tissu osseux est très actif et dynamique, ceci étant dû au fait que des microfractures continues viennent modifier l'architecture de l'os. Bien que ces microfractures peuvent être perçues comme une faiblesse du squelette, il en est tout autrement, car cette création de fissures dans le tissu osseux a pour conséquence de stimuler sa production. Dans le cadre de ce mémoire s'intéressant à l'ontogénie du processus d'asymétrie chez les métacarpes, la question du modelage et du remodelage est centrale. En effet, l'axe, la forme, la structure ainsi que l'épaisseur de chaque os est sculptée par le processus de modelage à la suite d'une ossification endoconjonctive (Frost, 1963).

Le modelage est le processus permettant le contrôle de l'architecture de l'os, principalement par l'altération de la forme par la résorption et la formation osseuse par les cellules ostéoclastes et les cellules ostéoblastes (Lazenby, 2002c). Une part de la détermination structurelle des os est génétiquement programmée; néanmoins la finalité morphologique du squelette reste dictée par des variations de charges et stress

mécaniques imposés à l'organisme. Ces différentes charges auront comme conséquence de venir intervenir dans la croissance et l'anatomie. En effet, la conséquence principale observée chez les os en croissance est la variation dans la vitesse d'ossification située à des endroits précis de l'os. Carter et collègues (1987) présentèrent deux types de stress à la hauteur du cartilage de croissance des os longs. Le premier stress est nommé hydrostatique, celui-ci ralentira la croissance et conservera plus longtemps le cartilage. À l'opposé, on retrouve les stress de cisaillement, qui stimulent la croissance et l'ossification des os immatures. Le modelage permet une expansion globale de la taille de l'os, maintenant ou ajustant la forme de l'os durant la croissance en modifiant la quantité et le lieu de la déposition du tissu osseux autour de la matrice (Marieb et Hoehn, 2010). Ainsi, le modelage a pour but d'ajouter ou enlever de la matière osseuse au niveau de l'endoste et du périoste selon la sollicitation biomécanique demandée à l'organisme.

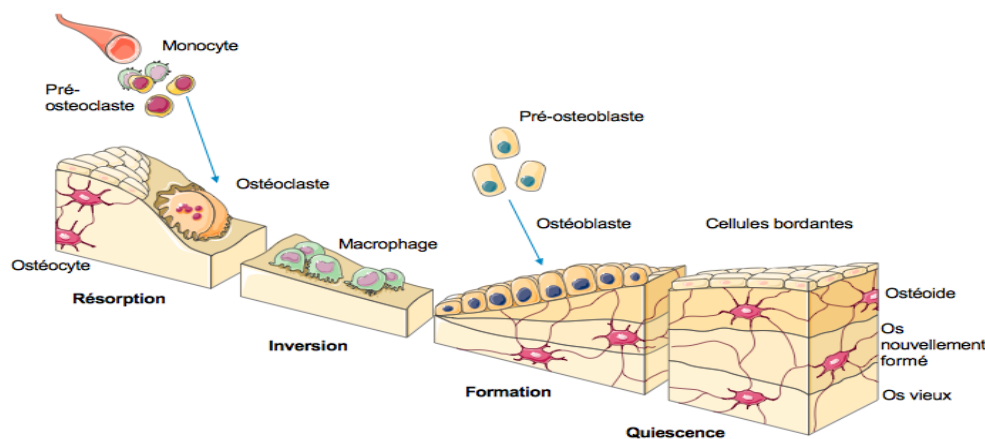
FIGURE 4 MODÈLE DE RUFF ET COLLÈGUES (1994) SUR L'ONTOGÉNIE DES CHARGES LORS DE LA RÉPONSE OSSEUSE EN PÉRIODE DE MODELAGE. (MODIFIÉE DE PEARSON ET LIEBERMAN, 2004)



Le remodelage osseux est plus présent chez les adultes, par la résorption osseuse puis la déposition, ces deux processus constitue le «remaniement osseux». Le remaniement osseux se fait donc par l'entremise du retrait et de l'ajout de matière osseuse couplés et synchronisés par les cellules de la matrice extracellulaire, plus précisément les ostéoclastes et les ostéoblastes, qui sont appelés unités de remaniement. Le remodelage osseux est divisé principalement en deux, soit une première phase rapide de résorption

de quelques semaines, suivie par une phase de formation et de dépôt osseux de quelques mois. Cependant, ce processus n'est pas présenté de façon uniforme au sein du corps humain (Marieb et Hoehn, 2010).

FIGURE 5 SCHÉMATISATION DU CYCLE DE REMODELAGE OSSEUX (MODIFIÉE DE REY, 2015)



Comme mentionné, le remodelage s'opère constamment dans l'organisme et est soumis à deux principaux facteurs. Le premier est la régulation hormonale par rétro-inhibition maintenant l'homéostasie minérale de l'os. Le second régulateur est dépendant des réactions aux forces mécaniques et gravitationnelles qui affectent le squelette (Marieb et Hoehn, 2010). Dans le cadre de cette recherche, bien que le modelage et le remodelage cohabitent, l'étude portera sur le processus de modelage, puisque présent chez les individus immatures.

### 2.3 La main humaine

La spécialisation morphologique de la main pour la préhension et la manipulation d'objet est certainement l'un des éléments particuliers de l'évolution des primates. En effet, plusieurs traits caractéristiques des primates, dont *Homo sapiens*, se trouvent sur la main, tel que le pouce opposable, permettant de performer les poignes de précision (Boyer et coll., 2013). On observe certains traits dérivés de la main humaine se caractérisant par un redressement des doigts qui sont plus courts ainsi qu'un développement musculaire des muscles thénaires (court abducteur du pouce, court fléchisseur du pouce opposant du

pouce et adducteur du pouce), hypothénaires (adducteur du cinquième doigt, court fléchisseur du cinquième doigt, opposant du cinquième doigt) et de la paume (lombricaux, interosseux palmaire et interosseux dorsaux de la main) (Marieb et Hoehn, 2010). De plus, le deuxième métacarpe développe une faculté de rotation axiale et le pouce s'allonge ce qui permet une opposition complète avec les coussinets tactiles des autres doigts (Drapeau, 2012).

### 2.3.1 Morphologie de la main

La main humaine est composée de 27 os (voir Figure 6 et 7), répartis en trois sous-groupes : les carpes (8), les métacarpes (5) et les phalanges (14) (Platzer, 2007).

**Carpes** : Ce groupe osseux est composé de huit os, dont l'os scaphoïde et l'os lunatum, qui viennent s'articuler avec le radius afin de former l'articulation du poignet. Complétant le groupe se joint l'os triquetrum, l'os pisiforme, l'os trapèze, l'os trapézoïde, l'os capitatum et l'os hamatum (Platzer, 2007).

**Métacarpes** : composé de cinq métacarpiens tous ayant une morphologie comprenant un corps, une base et une tête qui s'articulent avec une phalange proximale.

– Métacarpe I : Le premier métacarpien est celui constituant le pouce, il est composé de la diaphyse la plus large sans toutefois présenter des surfaces articulaires plus grandes que les autres métacarpiens. De plus, il est le plus court et le plus mobile des cinq métacarpes. On le retrouve dans une position plus antérieure, par conséquent l'articulation le liant à l'os trapèze est la seule articulation dite en selle permettant les mouvements d'opposition (Platzer, 2007 et Marieb et Hoehn, 2010).

– Métacarpe II : Le deuxième métacarpien est le plus long ; il expose à son extrémité proximale une surface articulaire encochée avec l'os trapézoïde, l'os trapèze et le



capitatum. Sur le côté médial, il présente une surface articulaire adjacente au troisième métacarpe (Platzer, 2007).

– Métacarpe III : Le troisième métacarpe possède dorso-latéralement un processus styloïde. Au niveau de l'extrémité proximale, une surface articulaire le lie avec l'os capitatum et, médialement, il possède deux surfaces articulaires communes avec le quatrième métacarpe (Platzer, 2007).

– Métacarpe IV : Le quatrième métacarpe possède une surface articulaire latérale, qui s'articule avec le cinquième métacarpien et une surface proximale qui s'articule avec l'os capitatum et l'os hamatum (Platzer, 2007).

– Métacarpe V : Ce dernier métacarpien s'articule avec l'os hamatum par son extrémité proximale (Platzer, 2007).

**Phalanges :** Il s'agit des os des doigts, chacun d'eux est composé de trois phalanges, à l'exception du pouce qui n'en possède que deux : la phalange proximale, la phalange moyenne et la phalange distale. On peut parfois observer entre l'articulation du métacarpe et de la phalange proximale du pouce un os sésamoïde, bien que ceux-ci peuvent se présenter à chaque doigt, ils sont plus fréquents à cet emplacement (Platzer, 2007 et Marieb et Hoehn, 2010).

FIGURE 6 ANATOMIE DE LA MAIN DROITE (MODIFIÉE DE MARIEB ET HOEHN, 2010)

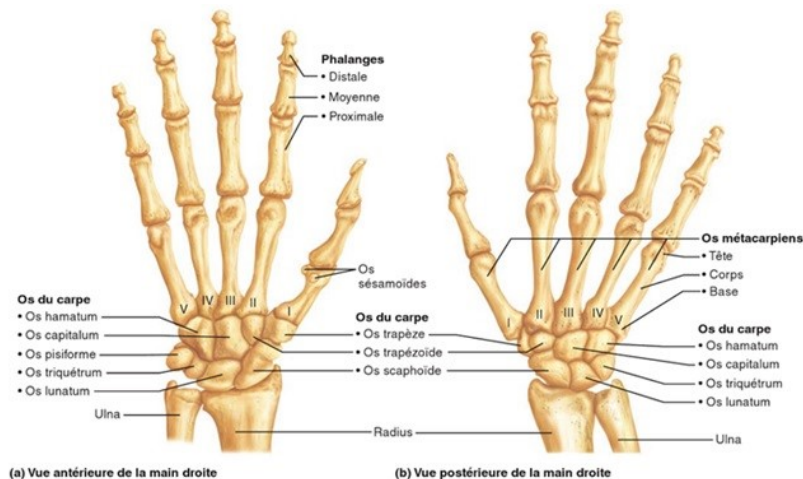


FIGURE 7 A) VUE DORSALE DES MÉTACARPES DROITS (IND. :2B8) B) VUE PALMAIRE DES MÉTACARPES DROITS (IND. :2B8) C) VUE MÉDIALE DES MÉTACARPES DROITS (IND. :2B8) D) VUE LATÉRALE DES MÉTACARPES DROITS (IND. :2B8) E) STADE DE CROISSANCE MAIN GAUCHE 1 AN À DROITE (IND. : 2E5) ET 4 ANS À GAUCHE (IND. : 2E7) (TESSIER, 2017).



Cette recherche se concentrera principalement sur l'analyse des trois premiers métacarpes, puisque ceux-ci sont fortement sollicités lors des mouvements de préhension, donc grandement exposés aux charges et stress biomécaniques (Butterworth et Itakura, 1998, Marzke, 1997 Jones-Engel et coll., 1996 et Lesnik et coll. 2015).

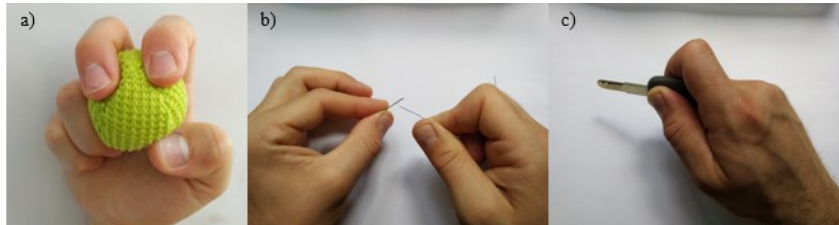
## 2.4 Adaptation morphologique de la main

Marzke (1997) décrit sept traits morphologiques favorables à l'accomplissement de la préhension (voir Figure 8) et la création d'un certain patron d'exécution tel que :

1. L'élargissement de la 3<sup>e</sup> phalange située sous le coussinet tactile distribuant les charges lors de la préhension chez les humains modernes, ce qui engendre une plus grande surface de friction et donc une poigne plus sécurisée.
2. Un pouce long proportionnellement aux autres doigts.
3. L'acquisition de muscles intrinsèques bien développés : les muscles du pouce contribuent à 39 % de la musculature de la main de l'humain moderne. Ces muscles servent de stabilisateurs lors de la poigne.
4. L'acquisition d'un muscle *flexor pollicis longus* large (muscle du pouce) : ce dernier permet la flexion de la phalange distale du pouce et l'orientation du coussinet tactile (voir Figure 8).
5. L'orientation radiale de la tête du 3<sup>e</sup> métacarpe : chez l'humain moderne le troisième métacarpe est distinctif des autres, puisque son orientation palmaire provoque l'opposition de la phalange proximale avec le pouce en flexion et ce qui maximise l'aire de contact (voir Figure 8).
6. Une asymétrie marquée de la tête du 2<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> métacarpe : permet aux doigts de s'adapter à la forme de l'objet et de faire pivoter l'objet à travers des mouvements au niveau des articulations métacarpophalangiennes.
7. L'orientation de l'articulation du second métacarpe avec le trapézium et l'os capitatum dans le plan sagittal : ceci permet la pronation des métacarpes lors de

poigne de précision (coussinet à coussinet) et fournit une plus grande surface de distribution des charges axiales pendant la préhension.

FIGURE 8 TYPE DE MANIPULATION. A : POIGNE D'OPPOSITION « THREE-JAW GRIP ». B : POIGNE À DEUX DOIGTS COUSSINET À COUSSINET « PAD-TO-PAD » C : POIGNE D'IMPRÉCISION « PAD-TO-SIDE ». (TESSIER, 2017)



## 2.5 L'ontologie de la manipulation

La manipulation est l'action de tenir entre ses mains un objet lors d'une utilisation quelconque. Chez l'humain, la dominance typique d'un côté est perceptible chez les enfants dès la première année de vie. Darwin lui-même observa chez son fils de 77 jours une prédominance de la main droite lors de manipulation réduite (Harris, L. J., 1982). Durant les premières années de vie, l'enfant passera à travers plusieurs phases développementales afin d'acquérir une dextérité latéralisée.

Le début de la préhension commence vers 3 mois, conduisant à une période d'intense inspection des mains dans le champ de vision. Entre 3 et 6 mois, les mains évoluent sous le contrôle visuel, cette phase est généralement marquée par l'apparition primaire d'une poigne à une main soit droite ou gauche. Entre 6 et 9 mois, une bilatéralité coordonnée commence à s'amorcer et les mains adoptent mutuellement des rôles complémentaires. Lors de tâches de coordination manuelle, la main préférentielle aura un rôle actif tandis que l'autre main aura un rôle de soutien. Chacune adoptera différentes poignes dans une coopération. Lesné et Peycelon ont démontré qu'un enfant passera par une période d'ambidextrie entre 5 et 9 mois pour ensuite faire place entre 10 et 11 mois à l'uni-dextérité (Lesné et Peycelon, 1934) Bien qu'une préférence se manifeste très tôt chez un enfant, celle-ci reste hautement malléable, démontrant un changement d'utilisation entre la main droite et gauche (Corbetta et coll., 2006). Le développement de la motricité

fine augmente vers 14 mois. La forme et le poids des objets à soulever peuvent influencer le succès de la préhension, tout comme la force et la taille de la main de l'enfant permettront la réussite de la tâche désirée (Vauclair et Imbault, 2009). Il semble qu'une fois le côté dominant développé entre 9 et 12 mois, celui-ci ne change pas et est impliqué dans les habilités d'expression telle que pointer et l'inspection fine à l'aide de l'index (Michel et coll., 2001, Butterworth et coll., 1998, Gesell et Ames, 1947).

Il existe trois périodes de renforcement de la préférence manuelle (Scharoun et Bryden, 2014). La première se situe entre 3 et 5 ans, bien que faible et inconsciente, une préférence commence alors à se mettre en place, et certains objets pouvant influencer la préférence d'utilisation d'une main. Cependant, les deux mains restent utilisées afin d'explorer l'espace. Ensuite, entre 7 et 10 ans, une période de stabilisation s'installe : l'augmentation de la régularité de l'utilisation d'une main devient perceptible. Celle-ci devient plus forte et constante et cette consolidation correspond à l'apprentissage de tâches à motricité fine. La main est choisie indépendamment de la tâche ou de l'objet à agripper. Jusqu'à l'âge de 7 ans, l'utilisation de la main passive (non-dominante) ou celle des deux mains est observée (Gesell et Ames, 1947). La dernière phase entre 10 et 12 ans fait place à la permanence et à l'utilisation d'une main passive. Ceci résulterait de l'expérience et de la pratique des tâches manuelles. La dominance d'une main est le produit de la croissance et se développe à travers la manipulation (Gesell et Ames, 1947). Toutefois, l'âge de stabilisation ne fait toujours pas consensus, variant entre 13 mois et 10 ans (Michel et collègues, 2002 et Scharoun et Bryden, 2014). Souvent les attributions de « handedness » sont basées sur la préférence (identifiée par la personne elle-même) et la performance (en temps réel quelle main est utilisée). Selon plusieurs chercheurs l'acquisition de cette faculté de manipulation se fait dans un continuum (Steele et Uomini, 2005, Corbetta et coll., 2006).

Durant une étude menée par James Mark Baldwin auprès de sa fille entre 5 et 10 mois, 96 expériences ont été exécutées. Entre 5 et 8 mois, aucune préférence manuelle n'a pu être enregistrée. Entre 8 et 10 mois, une intensification du degré de difficulté dans les

tâches demandées permet l'apparition d'une préférence constante de la main droite. Le chercheur détermina que le « handedness » est déterminé par la physiologie du cerveau et non par l'habitude ou par l'entraînement parental (Baldwin, 1890 et Butterworth et coll., 1993).

## **2.6 Le concept d'asymétrie**

### **2.6.1 Type d'asymétrie**

L'asymétrie bilatérale se définit comme la différence de mesures prises entre le côté gauche et le côté droit du corps humain (Krishan et coll., 2010). Sous le concept d'asymétrie, on retrouve trois sous-catégories :

1. L'asymétrie directionnelle (DA) : lorsqu'au sein d'une population il existe une différence développementale favorisant un côté du corps de façon constante et que le côté dominant est généralement le même sur le plan symétrique et ce à l'échelle individuelle ou pour un groupe d'individu (Albert et coll., 1999, Steele et Mays, 1995, Kanchan et coll. 2008).
2. L'antisymétrie (AS) : ce phénomène provient d'un mécanisme similaire à DA, dans lequel les individus sont latéralisés pour des comportements particuliers, mais différent au niveau de la distribution populationnelle ne démontrant pas de biais vers un côté (Albert et coll. 1999, Kanchan et coll. 2008, Van Valen, 1962 et Reeves, Auerbach, Sylvester, 2016)
3. L'asymétrie fluctuante (FA) : lorsqu'aucun côté n'est favorisé par rapport à un autre (Albert et coll., 1999), c'est-à-dire que ce caractère varie de façon aléatoire par rapport au plan symétrique, en raison des limites de capacité d'un organisme à développer une morphologie parfaitement symétrique (Steele et Mays, 1995).

Pour ce mémoire, le concept central est l'asymétrie directionnelle.

## 2.6.2 Facteurs d'influence

Les recherches actuelles tentent de cerner l'impact des différents facteurs d'influence propre au phénomène de l'asymétrie. Plusieurs explications furent avancées, afin de mieux comprendre la provenance de l'asymétrie bilatérale ainsi que de l'asymétrie directionnelle. Les études sur la latéralisation permirent de repérer des causes endogènes (génétiques) et exogènes (mécaniques) influençant son développement (Auerbach et Raxter, 2008).

### 2.6.2.1 Facteurs biologiques

Une approche évolutive fut proposée par Steele et Uomini (2006). La préférence pour une main étant une caractéristique pratiquement absente chez nos cousins primates, il fut proposé que les premiers *Homo sapiens* devaient avoir une proportion similaire de droitiers et de gauchers. Toutefois, 90% de la population actuelle est droitère contre seulement 10% de gauchers. Selon Annett (2002), durant l'évolution humaine, il y aurait eu un changement dans le génome favorisant la latéralisation de la main droite. Elle se réfère à ce phénomène comme étant le « right shift gene ». Celui-ci serait responsable de la proportion similaire de droitiers, gauchers et d'ambidextres observés dans toutes les populations humaines (Blackburn et Knüsel, 2006). Le fait que la latéralisation soit partagée à l'échelle populationnelle ne permet pas d'écarter l'influence génétique comme facteur développemental (Cobalis, 1989).

Coakley et Brown (1986) postulèrent que l'asymétrie osseuse serait apparue en réaction à la distribution du sang oxygéné entre le côté droit et le côté gauche du corps, ce qui potentiellement rendrait la croissance osseuse inégale. Cette idée fut reprise par Steele (2000) et Blackburn (2011). Une cause biologique de l'asymétrie directionnelle est le développement de la locomotion bipède qui permit aux membres supérieurs de se libérer de certaines contraintes motrices. Toutefois, les exposants à des stress environnants de façon inégale (Auerbach et Ruff, 2006). Chez l'humain moderne, l'un des stress moteurs

touchant directement la main est certainement l'écriture qui se pratique de façon unilatérale. Toutefois, si l'on observe des comportements demandant moins de précision, tels que la cueillette, bien que cette activité demande l'usage des deux mains, l'une est certes plus sollicitée. Généralement, la main dominante sera active dans l'action de choisir l'élément cueilli (fruit, bois, etc.), tandis que la main non-dominante sera plutôt passive, tenant le récipient recevant les denrées. Cette observation s'applique aussi à des comportements plus modernes tels que la pratique d'un sport (comme le tennis), ou encore lors de gestes de préhension éloignés (ouvrir une porte, attraper un objet en hauteur). Toutes ces activités créeront des stress répétitifs engendrant un dépôt osseux différentiel (Shaw, 2011).

Une autre hypothèse provient de Michel (1981), qui met de l'avant la possibilité d'une corrélation entre l'orientation de la tête d'un nourrisson (2 mois) lorsqu'il dort sur le dos et la préférence manuelle se développant entre 4 et 18 mois. Ce positionnement de la tête serait selon lui un précurseur à la permanence chez l'adulte de l'utilisation unimanuelle. Ceci serait le résultat d'un biais à droite, encourageant le développement inégal dans le champ visuel et neuronal (l'hémisphère gauche contrôlerait la motricité; Scharoun et Bryden, 2014).

#### **2.6.2.2 Aspect héréditaire**

La transmission de la dominance manuelle chez les humains est encore mal expliquée. Néanmoins, des constantes au sein d'une même famille sont observées. Perelle et Erhman (1994), lors d'un recensement à l'échelle mondiale, obtinrent des statistiques fort intéressantes entre les liens familiaux ; 76,1 % des droitiers disent n'avoir aucun lien de parenté au premier degré avec un gaucher et 61,1 % des gauchers n'ont pas de gaucher dans leur famille. Les enfants gauchers sont quand même plus propices à avoir un parent ou des frères et des sœurs gauchers qu'un enfant droitier.



Certaines spéculations évolutives sur l'origine et la fonction de cette dominance furent mises de l'avant par Butterworth et collègues (1993). Ces derniers reviennent sur l'explication de Salk (1973) qui montre que chez les femmes, dans 60 à 75 % des cas, il est observé qu'elles bercent l'enfant dans le bras gauche; ceci permettrait à l'enfant d'entendre le battement de cœur de la mère. Le fait de bercer l'enfant dans le bras gauche aurait permis de libérer la main droite de la mère, donc celle-ci serait devenue la main dominante.

Une dernière hypothèse serait en lien avec l'asymétrie cérébrale qui aurait un impact sur la coévolution des capacités verbales et l'utilisation d'outils. Ces deux habiletés se situent généralement dans l'hémisphère gauche du cerveau qui contrôle le côté droit du corps, créant ainsi une latéralisation plus prononcée à droite (Butterworth et Itakura, 1998). Cobalis (1989) avance que cette prédominance humaine pour la latéralisation serait liée à l'asymétrie cérébrale de l'hémisphère gauche responsable du langage et du discours. Il suggère que la dominance de la main droite, l'usage d'outils et le développement de l'hémisphère gauche dans les mécanismes associés au langage peuvent remonter aux premiers hominines. Concernant l'ordre d'apparition de ces deux comportements, deux explications sont possibles. Selon la première, la dominance manuelle qui serait apparue en premier, établit la plateforme nécessaire pour le traitement du discours dans l'hémisphère gauche. L'autre explication prétend que la latéralisation est venue en réponse au développement du langage. Le lien entre le développement de la préférence du côté droit et du contrôle du discours par l'hémisphère gauche du cerveau reste spéculatif.

### **2.6.2.3 Facteurs socio-environnementaux**

Plusieurs facteurs socio-environnementaux auront un impact sur l'aspect biomécanique du tissu osseux. Les facteurs environnementaux incluent les différents stress, tels que l'excès de froid ou de chaleur, les charges mécaniques et les comportements sociaux (Kanchan et coll. 2008 et Perelle et Erhman 1994). Ce matériel biologique continue de se modifier à travers la vie d'un individu dû à un processus

physiologique normal, en réponse aux charges mécaniques mises en place par les activités humaines (Wescott et Cunningham, 2006).

L'origine génétique et l'environnementale ou culturel est au centre de ce questionnement. L'intérêt pour cette opposition génétique/environnement provient de la théorie voulant qu'un trait osseux seulement contrôlé et exprimé de façon génétique n'exposera aucune asymétrie, puisque ce trait aura une expression égale bilatérale. Cependant si une influence environnementale (comportement, milieu socio-environnemental) fait pression sur l'élément osseux, une asymétrie sera détectée, et donc cette asymétrie sera le résultat d'une accumulation d'évènements durant le développement de l'individu (Trinkaus, 1978). Une influence combinée de ces deux facteurs est à prendre en considération. En effet, l'hérédité du trait peut parfois être freinée par un changement de main durant l'acquisition de l'asymétrie manuelle. Ce changement est plus souvent perceptible chez les enfants gauchers qui, suite à diverses contraintes sociales et culturelles, sont forcés d'utiliser la main droite, puisqu'évoluant dans un « monde de droitiers » (Perelle et Erhman, 1994, Michel et coll., 2002). Chez les jumeaux monozygotes, certains traits physiques et comportementaux sont inversés entre les deux jumeaux, malgré qu'ils partagent la même génétique. Perelle et Erhman (1994) expliquent ce phénomène dû au fait qu'en bas âge les deux enfants se voient souvent présentés l'un face à l'autre, dans une volonté d'imiter ce qu'ils voient face à eux; ils utilisent alors la main opposée de leur jumeau, comme un reflet dans un miroir. Ceci pourrait donner des réponses quant à l'influence sociale sur l'utilisation des membres supérieurs plus précisément des extrémités et le développement osseux des os longs.

## **2.7 L'étude de l'asymétrie des métacarpes : historique**

L'asymétrie directionnelle du deuxième métacarpe et sa latéralité est l'un des axes de recherche explorés afin de mieux comprendre l'asymétrie de la main humaine ainsi que son développement et sa plasticité morphologique (Lazenby, 1998). Le concept de « handedness » (préférence manuelle) est en lien direct avec la latéralisation puisque ce

comportement engendre la dominance droite ou gauche d'une main pour certaines actions. Cette dominance manuelle exerce une influence sur la latéralisation des os longs, principalement en ce qui concerne la longueur et la largeur du membre dominant. Généralement, la tendance de la préférence manuelle s'observe pour la main droite chez 90 % de la population mondiale. Cette tendance est aussi observable pour le membre supérieur, principalement chez l'humérus qui est l'os le plus asymétrique du corps humain (Kujanová et coll., 2008 et Čuk et coll., 2001). Schultz (1926) fut l'un des premiers à faire une étude ontogénique de l'asymétrie. Il observa chez les fœtus, que l'humérus droit est plus long et que cette tendance serait héritée, puisqu'observé lors des quatre premiers mois de grossesse et donc non sujet à l'activité postnatale. Baer et Durkatz (1957) ainsi que Dreizen et collègues (1957) observèrent une apparition et une maturation différentielle des points d'ossification entre la main droite et la main gauche pour les métacarpes, sur deux groupes d'enfants âgés de 0 à 16 ans.

Une asymétrie bilatérale a été démontrée par l'analyse radiologique de l'aire totale, l'aire corticale et le pourcentage d'aire corticale du deuxième métacarpe (Garn et coll., 1976). Les résultats de cette étude démontrèrent que le côté droit était en moyenne plus large et plus dense pour l'aire corticale de la main droite, et ce indépendamment que l'individu soit droitier ou gaucher. Garn et collègues appuient ses résultats sur la théorie génétique selon laquelle la main droite produit plus de masse osseuse que la gauche. Une seconde recherche ayant comme sujet d'étude le second métacarpe arriva à la même conclusion, en démontrant que le métacarpe droit dispose d'une longueur et d'une largeur ainsi qu'une masse osseuse plus grande que celle de la main gauche (Plato et collègues, 1978). Toutefois, quelques précisions seront apportées à cette observation. En effet, malgré que la main droite soit plus massive chez les gauchers, cette tendance est diminuée dû à l'utilisation prononcée de leur main gauche, provoquant une plus grande déposition osseuse à gauche et rendant l'asymétrie bilatérale non significative chez certaines personnes gauchères (Plato et collègue, 1980). Ceci, viendrait appuyer ce que proposèrent Garn et collègues (1976) voulant que ces observations s'appuieraient sur la théorie

génétique selon laquelle la main droite produit plus de masse osseuse que la gauche, (Trinkaus, 1978).

Le diamètre de la diaphyse est la section la plus asymétrique d'un élément osseux, qui résulterait de la capacité à la diaphyse de se modeler pendant la croissance en réponse à l'activité physique, tandis que la longueur de l'os et la largeur des articulations sont beaucoup moins plastiques (Blackburn, 2011). Cette région osseuse devient le centre d'intérêt de plusieurs recherches (Roy et coll., 1994; Lazenby, 1995; Plato et coll. 1998; Lazenby, 2002a; Lazenby, 2002b; Lazenby, 2002c). Une étude documenta les charges appliquées au deuxième métacarpe qui sont dominées par des forces de flexions. Les résultats de cette recherche démontrent que la main dominante, qu'elle soit droite ou gauche, augmente l'aire en coupe et la robustesse du deuxième métacarpe.

Des observations plus précises ont démontré que l'épaisseur corticale du second métacarpe est non-circulaire avec la partie latérale plus épaisse que la partie médiale pour les métarpes gauches et droits, chez les hommes comme chez les femmes (Fox et collègues, 1995). Fox et collègues proposent que ceci est dû aux sites d'attache musculaire, qui imposeraient de plus grandes contraintes sur cette région de l'os. Les axes de recherche mettent l'accent davantage sur l'exposition différentielle au phénomène de la non-circularité de l'os selon les sexes ainsi que l'influence de l'environnement sur la plasticité de l'os.

Il a été démontré que les stress mécaniques ont un effet morphogénique sur l'os trabéculaire pour ce qui est du volume et de la microarchitecture durant la croissance. En effet, comme l'os trabéculaire répond à la charge environnementale, il a la fonction de les transférer et les absorber, cette structure, comme mentionné plus haut, optera pour une modification de sa rigidité par le biais d'une modification de l'arrangement architectural (Lazenby, 2008). L'étude de cette microstructure osseuse permet de noter une différenciation en ce qui a trait à la variation de dimension du deuxième métarpien entre les sexes et l'âge des individus analysés. Les hommes ont généralement une masse osseuse

plus développée que les femmes, et celle-ci est plus marquée du côté droit (Lazenby, 2008).

L'utilisation de la technique d'analyse en coupe permet de confirmer la forme non circulaire du deuxième métacarpe à la mi-diaphyse et la présence d'une différence entre hommes et femmes. En effet, les femmes démontrent une forme plus cylindrique que les hommes. La forme non cylindrique chez ces derniers résulterait de l'application de force en flexion de façon médiolatérale, ainsi que la pression appliquée par les attaches musculaire, ce qui augmenterait la non-circularité. Les individus plus âgés ont tendance à avoir une forme circulaire moins prononcée des métacarpes droits et gauches, due à une diminution de la manipulation ou de la formation osseuse (Lazenby, 2002a et b). Richard A. Lazenby est l'un des chercheurs ayant le plus contribué à la recherche sur l'asymétrie de la main, et il apporta plusieurs précisions concernant l'impact des charges mécaniques sur l'asymétrie des métacarpiens. Il apporta une nouvelle dimension à la recherche sur l'asymétrie des métacarpes en utilisant l'analyse en coupe, technique qui lui permit de mieux documenter la distribution osseuse et la forme de l'os (Lazenby, 1998). Lors d'une étude Lazenby (2002b) arriva à montrer l'existence d'une variation de la circularité osseuse au niveau de l'épaisseur corticale au sein d'un même élément, qui est corrélée à la distribution différentielle des forces de torsion imposées sur le deuxième métacarpe. Ceci constitue un apport important dans la compréhension de l'asymétrie, puisque contrairement à son étude de 1998 centrée sur la distribution différentielle entre les sexes et les tranches d'âge, cette nouvelle étude démontra la distribution différentielle au sein d'un même élément osseux.

L'analyse en coupe est devenue une source d'information importante afin de reconstruire les habitudes de vie des populations passées. Dans des contextes anthropologiques, l'utilisation de cette méthode d'analyse sur les os longs permet d'examiner les effets de la division sexuelle du travail, les changements dans les modèles de subsistance, l'âge et l'environnement (Weiss, 2003). Cette méthode d'analyse permet de mieux comprendre les différentes forces biomécaniques imposées à un os. En effet, le

CT-Scan est devenu un outil indispensable lors d'études *in vivo* ou *in vitro* sur la micro et macroarchitecture corticale. Il n'est pas à écarter dans le choix de cette technique que celle-ci reste non invasive, ce qui lui octroie un avantage considérable (Lazenby, 2008).

## **2.7 Problématique**

Le degré d'asymétrie du deuxième métacarpe chez les adultes fut démontré à travers les études antérieures (Lazenby, 2002c, Roy et coll. 1994, Garn et coll., 1976 et Trinkaus, 1978). Toutefois, l'impact socio-environnemental sur le modelage lors de l'ontogénie reste peu exploré. Ce mémoire tentera d'apporter une meilleure compréhension de la physiologie et de la plasticité du squelette humain. Plus précisément, je tenterai de documenter le processus de mise en place de l'asymétrie pour le 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> métacarpiens. Bien que quelques propositions ont été mises de l'avant par Baer et Durkatz (1957), ainsi que Dreizen et collègues (1957) par l'analyse des points d'ossification, le seul constat qui put être tiré de ces études est le développement précoce de la main droite. Ces études n'ont pas tenu compte de facteurs exogènes pouvant influencer le modelage osseux ainsi que le stade développemental où cette différence est la plus marquée. De plus, les études antérieures sont centrées sur l'analyse du deuxième métacarpe uniquement. Toutefois, les trois premiers métacarpiens sont indispensables à la mise en place de plusieurs poignes lors de la manipulation; c'est pourquoi leur analyse est nécessaire pour une meilleure compréhension de l'interaction entre l'environnement et le développement osseux.

### **2.7.1 Question et hypothèses de recherche**

Pour faire suite à la revue de littérature sur l'asymétrie des métacarpes selon divers contextes, voici l'axe de recherche que j'ai choisi d'explorer : à quel stade ontogénique du développement osseux l'apparition d'une asymétrie est-elle observée et comment celle-ci se manifeste-t-elle ?

À partir de cette question de recherche, les hypothèses suivantes sont énoncées :

**H<sub>1</sub>** : Considérant que le phénomène de « handeness » influence l'asymétrie directionnelle par le biais de la densité et de la croissance osseuse chez les métacarpes et considérant que 90% de la population mondiale est droitère, il devrait exister une augmentation de la densité osseuse du côté droit.

**H<sub>2</sub>** : L'apparition de l'asymétrie directionnelle des métacarpiens sera corrélée avec le développement de la manipulation. Étant donné que la manipulation de précision fait son apparition dès l'âge de 5 ans et est pratiquement équivalente à celle d'un adulte entre 7 et 10 ans, je postule que c'est à ces âges qu'un début d'asymétrie sera perceptible au sein de mon échantillon.

**H<sub>3</sub>** : Considérant que l'os subit des charges mécaniques médio-latérales et dorso-palmaires et que celles-ci ne sont pas appliquées de façon uniforme sur l'os. Il devrait être observée une non-circularité plus importante pour les métacarpes droits, puisque plus sollicités lors de la préhension.

## CHAPITRE 3 : MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 3.1 Description du matériel de recherche

Les 158 spécimens osseux composés du premier, deuxième et troisième métacarpe droit et gauche analysés dans le cadre de cette recherche proviennent de deux collections ostéologiques datant du XVIIIe et XIXe siècles, la première collection étant celle du premier cimetière de l'église Sainte-Marie, Beauce, Québec, (code Borden : CcEs-01) (Ethnoscop, 2006) et la seconde provient du cimetière de la première église de Pointe-aux-Trembles, Montréal, Québec, (code Borden : BjFi-17) (Ethnoscop, 2015a). Le premier cimetière de Sainte-Marie de Beauce fut actif entre 1748 et 1879 (Ethnoscop, 2006), tandis que le cimetière de Pointe-aux-Trembles fut actif entre 1709 et 1843 (Ethnoscop, 2015). Le choix de ces deux collections repose sur leur disponibilité et leur contemporanéité. L'origine des individus inhumés dans ces deux cimetières est principalement euro-canadienne, se trouvant sur des terres colonisées par des migrants provenant d'Europe de l'Ouest (Français et Anglais) (Ethnoscop, 2015a, Honorius, 1970 et Dechêne, 1974). Les méthodes de détermination du sexe et de l'âge des spécimens retenue pour la collecte de donnée seront détaillées ultérieurement (voir section 3.2.2).

L'échantillon fut construit autour de 36 individus, pouvant être classés par catégories d'âge : soit 0 à 1 an ( $n = 10$ ), 1 à 4 ans ( $n = 11$ ), 5 à 10 ans ( $n = 5$ ), 16 à 20 ans ( $n = 4$ ), et 20 à 45 ans ( $n = 6$ , 3 femmes et 3 hommes). L'échantillon a été sélectionné afin d'inclure tous les stades de croissance, dans le but de pouvoir observer l'apparition de l'asymétrie. En incluant toutes les catégories d'âge, cet échantillon permet d'observer le modelage de l'os avant la manipulation, pendant le développement de celle-ci ainsi qu'après, une fois qu'elle est bien intégrée. Il est intéressant de mentionner que la distribution des spécimens suit la courbe logique de mortalité de l'époque, soit un haut taux de mortalité avant dix ans, une absence de spécimens adolescents (10 à 15 ans) et un nouveau déclin chez les jeunes adultes. Aucun individu sélectionné ne présentait de pathologies visibles à l'œil. Toutefois, il est important de mentionner que la majorité de



l'échantillon est composé d'individus immatures n'ayant pour la plupart pas dépassé l'âge de la puberté, et ceci, peut donc refléter des cas de pathologies non observable et n'ayant laissé aucune trace sur les ossements.

### **3.1.2 Analyse ostéologique des collections de Sainte-Marie de Beauce et de Pointe-aux-Trembles**

Puisque les collections Sainte-Marie de Beauce et Pointe-aux-Trembles sont des ajouts récents au département d'anthropologie de l'Université de Montréal, aucune détermination de l'âge et du sexe n'avait été octroyée aux individus (voir Tableau II). Plusieurs méthodes furent utilisées afin d'estimer l'âge des individus juvéniles et adultes, et celles-ci sont détaillées dans le Tableau II. L'âge des juvéniles dont les dents étaient présentes (27 individus) fut déterminé à l'aide de la méthode élaborée par Ubelaker (1989). Pour les individus, dont le maxillaire et la mandibule étaient manquants, plusieurs méthodes furent employées, à commencer par la méthode de Albert et Maples (1995) (trois individus), la méthode de Baker et coll. (2005) (quatre individus), la méthode de Kimura (1976) fut utilisée pour 1 individu, la méthode de Young (1957) (un individu) et la méthode élaborée par Meindl et Lovejoy (1985) permit d'estimer l'âge d'un individu âgé de 16 à 20 ans. Chez les adultes, bien que l'âge soit quelque peu plus difficile à déterminer, les méthodes de Albert et Maples (six individus), de Meindl et Lovejoy (quatre individus) ainsi que celle de Suchey et Brooks (1990) (deux individus) ont été utilisées. Un minimum de deux méthodes sur trois a été pratiqué afin de préciser au maximum la fourchette d'âge dans laquelle se trouve chaque individu.

Aucun sexe ne fut attribué aux individus immatures, puisqu'il est pratiquement impossible de leur octroyer un sexe avec précision. Cependant, le sexe des six individus adultes fut estimé grâce à l'application de la méthode de Buikstra et Ubelaker (1994), basé sur l'estimation visuelle de trois zones anatomiques de l'os coxal.

TABLEAU I SYNTHÈSE DES MÉTHODES D'ESTIMATION DE L'ÂGE ET DU SEXE

<b>Méthodes*</b>	<b>Description</b>
<b>Âge</b>	
Ubelaker (1989)	Stade calcification dentaire
Albert et Maples (1995)	Stade de fusion des vertèbres
Baker et coll. (2005)	Stade de fusion des épiphyses des os longs
Kimura (1976)	Mesure post-natale en longueur du deuxième métacarpe
Young (1957)	Mesure en hauteur de l'os frontal
Meindl et Lovejoy (1985)	Stade de fusion des sutures crâniennes
Suchey et Brooks (1990)	Morphologie de la symphyse pubienne
<b>Sexe</b>	
Buikstra et Ubelaker (1994)	Estimation visuelle de trois zones anatomiques de l'os coxal (l'incisure ischiatique, l'arc ventral du pubis et l'observation du sillon pré-auriculaire)

\*Plus d'une méthode a pu être utilisée sur un individu

TABLEAU II SYNTHÈSE DES INFORMATIONS RELATIVES AUX INDIVIDUS DE L'ÉCHANTILLONS

Individu	Âge	Catégories d'âge*	Site
<b>Immatures</b>			
1 C 1	26-38 semaines	1	Sainte-Marie de Beauce
7A9-S17	0 ± 2 mois	1	Pointe-aux-Trembles
7A2-S30	0 ± 2 mois	1	Pointe-aux-Trembles
2 B 13	0 ± 2 mois	1	Sainte-Marie de Beauce
7A9-S36	0 mois ± 2 mois	1	Pointe-aux-Trembles
7A9-S49	0 mois ± 2 mois	1	Pointe-aux-Trembles
7A2-S10	3 mois ± 6 mois	1	Pointe-aux-Trembles
2 E 5	6 mois ± 3 mois	1	Sainte-Marie de Beauce
7A2-S6	6 mois ± 3 mois	1	Pointe-aux-Trembles
7A9-S26	9 mois ± 3 mois	1	Pointe-aux-Trembles
7A2-S3	1 an ± 4 mois	4	Pointe-aux-Trembles
7A9-S28	1 an ± 5 mois	4	Pointe-aux-Trembles
7A2-S22	18 mois ± 6 mois	4	Pointe-aux-Trembles
2 B 12	2 ans ± 8 mois	4	Sainte-Marie de Beauce
2F3	3 ans ± 3 ans	4	Sainte-Marie de Beauce
7A11-S64	3 ans	4	Pointe-aux-Trembles
7A11-S63	4 ans ± 1 an	4	Pointe-aux-Trembles
2 E 7	4 ans ± 1 an	4	Sainte-Marie de Beauce
7A2-S1	4 ans ± 1 an	4	Pointe-aux-Trembles
7A9-S53	4 ans ± 1 an	4	Pointe-aux-Trembles
7A2-S32	4 ans ± 1 an	4	Pointe-aux-Trembles
2 A 2	5 ans ± 16 mois	10	Sainte-Marie de Beauce
7A9-S39	5 ans ± 3 ans	10	Pointe-aux-Trembles
2 A 1	6 ans ± 24 mois	10	Sainte-Marie de Beauce
1 C 2	8 ans ± 2 ans	10	Sainte-Marie de Beauce
7A9-S14	9 ans ± 3 ans	10	Pointe-aux-Trembles
2 E 8	16-20 ans	20	Sainte-Marie de Beauce
2 E 13	16-20 ans	20	Sainte-Marie de Beauce
7A9-S13	16 à 20 ans	20	Pointe-aux-Trembles
7A9-S38	16 à 20 ans	20	Pointe-aux-Trembles
<b>Adultes</b>			
2 B 7 (M)	20-30 ans	30	Sainte-Marie de Beauce
2 B 8 (M)	20-30 ans	30	Sainte-Marie de Beauce
2 B 15 (M)	20-30 ans	30	Sainte-Marie de Beauce
2 B 14 (F)	20-30 ans	30	Sainte-Marie de Beauce
2 E 9 (F)	35-45 ans	30	Sainte-Marie de Beauce
2 E 11 (F)	35-45 ans	30	Sainte-Marie de Beauce

\*1 = 0 à 1 an; 4 = 1 à 4 ans; 10 = 5 à 10 ans; 20 = 16 à 20 ans; 30 = 20 à 30 ans

### 3.1.3 Cimetière euro-canadien de Sainte-Marie de Beauce

En 2003, Transport Québec commande une étude de potentiel archéologique, auprès de la firme Ethnoscop Inc., sur les deux rives de la rivière Chaudière, afin d'entreprendre la construction d'un nouveau pont. À la suite des sondages et des fouilles

menées sous le stationnement et sous la rue Saint-Antoine (emplacement du premier cimetière de la paroisse en 1748-1879) un total de 62 sépultures ont été exhumés, comprenant 26 adultes et 28 juvéniles. Tous les spécimens sont conservés temporairement à l'Université de Montréal (prêt Isabelle Ribot) (Ethnoscop, 2006). Les différents mouvements survenus lors du réaménagement à répétition du cimetière et la construction des différentes églises (Ethnoscop, 2006) rendent difficiles la détermination de l'époque à laquelle ont vécu les individus compris dans l'échantillon de recherche.

Le village de Sainte-Marie de Beauce, fondé en 1738, était voué foncièrement à l'agriculture vu sa situation géographique. Situé près de la rivière Chaudière servant de voie de communication et de réseau hydraulique avantageux afin d'irriguer les terres constituées de plaines naturelles. Les habitants de cette région optèrent pour un mode de vie rurale, qui resta rudimentaire pendant près d'un siècle avant l'arrivée de la charrue (Provost, 1970). Les documents historiques de l'époque démontrent une forte croissance démographique; entre la fondation en 1738 et 1881, la population passa de 13 colons à 2 782 habitants avec un pic démographique de 5 113 habitants en 1831 (Provost, 1970). La courbe de mortalité de cette population est comparable aux communautés de la même époque, soit un nombre élevé de jeunes enfants, très peu d'adolescents et un nombre relativement élevé d'adultes de 20 à 50 ans. Une analyse approfondie de 32 individus du cimetière par R. Larocque (Ethnoscop, 2006) permet d'identifier certaines pathologies. Au niveau de la dentition de l'hypoplasie, des caries et du tartre, et pour les os et les articulations de l'arthrose, de la périostite, de l'ostéoporose, de l'ostéochondrite et des stress mécaniques furent démontrés, des traces d'anémie indique d'une carence en fer (Ethnoscop, 2006).

#### **3.1.4 Cimetière euro-canadien de Pointe-aux-Trembles**

En 2009, le conseil d'arrondissement de Rivière-des-Prairies–Pointe-aux-Trembles adoptait un nouveau *Programme Particulier d'Urbanisme* (PPU) visant la revitalisation du noyau villageois. La volonté étant de mettre en valeur la fenêtre sur le fleuve ainsi que le

haut potentiel patrimonial et historique du secteur. Les fouilles menées en 2010 permirent d'exhumer 63 individus dont l'état de conservation était variable et pouvant dater du Régime français associé au premier cimetière (1709-1843) n'ayant pas été exhumé lors de sa relocalisation. Tous les individus sont conservés de façon temporaire (prêt Isabelle Ribot) à l'Université de Montréal (Ethnoscop Inc, 2015a et Ethnoscop Inc. 2015b).

La fondation de Pointe-aux-Trembles se fit dans le contexte du développement de la seigneurie de l'île de Montréal, et dans un contexte de tension existant entre les colons français et les Iroquois. En effet, profitant d'une période de trêve, le régiment Carignan-Salière et les ecclésiastiques du Séminaire de Saint-Sulpice encouragèrent la colonisation de lieux stratégiques autant pour la défense de l'île tout comme des lieux d'importance pour le commerce des fourrures (Ethnoscop Inc, 2015). En effet, l'île dès cette époque est un carrefour de routes navigables et est donc devenue une plaque tournante du commerce (Dechêne, 1974). Pointe-aux-Trembles, fondée en 1666, devient donc le lieu tout désigné pour remplir ces fonctions, étant situé à l'extrémité Est de l'île et faisant face au fleuve Saint-Laurent. C'est durant les années 1680 que la nécessité de regrouper la population en bourg se fait sentir, puisque la guerre éclate avec les Iroquois. Avant 1684, les paroissiens cultivaient et résidaient sur leurs terres, plutôt que de centraliser la vie commune à l'intérieur des palissades de ce qui deviendra le noyau du village. En effet, 80 % de la colonie est rurale et Montréal ne fait pas exception, en excluant le Mont-Royal, l'île regorge de plaines naturelles et d'un sol riche en plusieurs endroits. Seuls 12 % des habitants de la colonie sont mobilisés dans les activités reliées à la traite (Dechêne, 1974). En 1781, soit 20 ans après la conquête, Pointe-aux-Trembles se porte bien sous le Régime Anglais et s'étend sur quatorze arpents. Les institutions paroissiales sont restées stables, et le village compte alors 40 propriétaires. Étant une ville portuaire et d'escale pour les voyageurs, au début du XIX<sup>e</sup> siècle, la ville voit sa prospérité décliner (1850) avec l'arrivée de nouveaux moyens de communication principalement du bateau à vapeur (1809).

L'analyse de la courbe de mortalité des individus, fait ressortir le haut taux de mortalité infantile, près de 38 % des bébés (incluant les fœtus) meurent avant d'atteindre

1 an, alors de 63 % d'entre eux ne dépassent pas 6 ans (Ethnoscop Inc, 2015b). Les causes associées à ces pourcentages peuvent être dues au sevrage survenant entre 1 et 2 ans, les maladies infectieuses et les parasites. Une fois l'âge adulte atteint, il semble y avoir une disparité entre le taux de mortalité chez les hommes et les femmes, près du trois quarts des individus adultes mis au jour sont des femmes. Cette analyse permet d'identifier les pathologies les plus répandues au sein de la population. Au point de vue bucco-dentaire on retrouve la perte de dents ante-mortem, l'hypoplasie, les caries et le tartre. En ce qui concerne les os et les articulations ont pu être identifier du rachitisme (carence en vitamine D), de l'anémie (carence en fer), de la périostite et de l'arthrose (Ethnoscop Inc., 2015b).

### **3.1.5 Le mode de vie en Nouvelle-France, le cas de l'enfance**

Bien que les deux populations proviennent de régions distinctes, leur mode de vie est similaire. En effet, tel que mentionné plus haut, les deux villages ont été fondés par des colons défricheurs qui deviendront par la suite des sociétés rurales (Provost, 1970). Les métiers destinés aux hommes se divisent en deux catégories, soit les métiers traditionnels et les métiers professionnels. Dans la première catégorie, on retrouve les agriculteurs, les cultivateurs, les bûcherons, les maçons, les charpentiers, les forgerons et les artisans (Provost, 1970). Les principaux outils utilisés dans l'exploitation des terres sont la pioche, la bêche, la grappe, la faucille, la faux, la fourche, la pelle, la hache et la serpe (Dechêne, 1974). Il est intéressant de constater que l'exécution des mouvements nécessaires à l'utilisation de la majorité des outils de l'époque doit être faite à l'aide des deux mains. Les métiers dits professionnels ne représentent qu'une infime partie de la population. On y retrouve principalement les médecins, les avocats, les notaires et les arpenteurs (Provost, 1970). Les tâches réservées aux femmes consistaient en premier lieu à conduire le ménage, entretenir les bâtiments, l'éducation rudimentaire des enfants, l'entretien du potager et de la basse-cour, donc l'approvisionnement en nourriture pour la maisonnée (Lemieux, 1985). Pointe-aux-Trembles se différencie en un aspect de Sainte-Marie de

Beauce; en effet, étant une ville portuaire, le commerce occupe 20 % de la production de l'île, et on y retrouve donc le développement d'un réseau marchand (Dechéne, 1974).

Dans le cadre de cette recherche, l'ensemble de l'échantillon regroupe des individus juvéniles. Retracer leur parcours peut être une chose ardue, mais réalisable. Denise Lemieux (1985) tente de dresser un portrait de l'enfance en Nouvelle-France selon chaque classe sociale. Le ménage moyen aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles comportent en moyenne 6 individus. Bien que le taux de fécondité soit fort élevé (7,7 enfants), un tiers des enfants meurent en bas âge (Lemieux, 1985). Il est à préciser qu'à cette époque les hôpitaux sont interdits aux femmes enceintes et aux enfants de moins de 7 ans. C'est durant cette période qu'un changement de vocation chez les enfants voit le jour; bien qu'en saison chaude les enfants aident sur la terre, nous assistons à la mise en place d'un premier système scolaire (Provost, 1967). Lemieux mentionne qu'il était de coutume pour l'élite (hauts dirigeants et petite noblesse) de se séparer en bas âge de leurs enfants, et ce pour des raisons politiques, d'alliance et de carrière. Bien souvent, ces enfants retournaient sur le vieux continent afin de parfaire leur éducation. Qu'en est-il des habitants et paysans? Ceux-ci, à l'opposé de la classe supérieure, gardent leur progéniture à leurs côtés jusqu'à un âge tardif au sein du foyer familial, soit environ 16 ans, pour ensuite les envoyer comme apprentis. Pour les familles plus nanties des milieux urbains (Pointe-aux-Trembles), les enfants rentraient au couvent des Ursulines (filles) ou au collège des Jésuites (garçons) afin de recevoir un apprentissage complet. En campagne, l'éducation scolaire reste discontinuée, et la famille devient le noyau de l'apprentissage (Lemieux, 1985 et Provost, 1967). En 1801 est votée la première loi scolaire du pays, la loi de l'Institution Royale (Provost, 1967). Cette loi prévoyait l'installation d'écoles de rang, dans un système de gratuité scolaire dans lequel les professeurs sont payés par le Gouverneur (Provost, 1967). Cette loi fut abolie en 1836, car, le clergé catholique déconseillait la fréquentation de ces institutions à vocation laïque, et la distance à parcourir par les enfants créant un achalandage irrégulier au cours des saisons (Provost, 1967). Les écoles de syndics ont été créées en protestation à ce que proposait ce nouveau gouvernement anglais. Celles-ci ne durèrent qu'entre 1829 et 1836 (Provost, 1967). C'est en 1841 que l'Acte d'Union est

signé. En 1844, la première commission scolaire paroissiale voit le jour, venant encadrer et moduler l'éducation. C'est à cette époque que l'âge des enfants scolarisés est comptabilisé mais, une petite variation existe dans les documents d'époque soit entre 5 et 15 ans ou 5 et 16 ans. C'est à cette époque aussi que les garçons et les filles se voient attribuer des écoles séparées, puisqu'avant cette date les écoles de rang étaient mixtes autant en ce qui concerne les élèves que le personnel enseignant (Provost, 1967). Cette instauration d'institutions scolaires, fait place à l'écriture et par le fait même la stabilisation d'une main dominante. Toutefois, le travail sur la terre demandant une ambidextrie, celle-ci n'est pas totalement écarté des habitudes.

### **3.1.6 Collecte préliminaire**

Une sélection a été faite à travers les deux collections (Sainte-Marie de Beauce et Pointe-aux-Trembles) d'individus immatures possédant au minimum un des trois premiers métacarpes droit ou gauche (MC1, MC2, MC3) et dont la conservation de la diaphyse permettrait d'être numérisé. La détermination de chacun des métacarpes a été réalisé selon la méthode de White (2005). Le même processus fut fait afin de déterminer les individus adultes présents dans l'échantillon (voir Tableau II). Étant donnée l'état de conservation des deux collections, afin de former un seul échantillon significatif les deux collections furent étudiées comme un échantillon. Bien que les deux collections proviennent de sites éloignés l'un de l'autre, plusieurs similitudes au niveau de mode de vie permettent de les considérer comme un ensemble. Cependant, il est vrai que les deux populations ne sont pas identiques et que certaines nuances doivent être apportées à ce sujet.



## **3.2 Méthodes**

### **3.2.1 Collecte de données**

La collecte de données principale fut la prise d'image d'analyse en coupe des os sélectionnés à l'aide d'un tomodynamomètre ainsi que le traitement des images et des différentes données obtenues.

### **3.2.2 Acquisition des images pour l'analyse en coupe**

À la suite de l'élaboration et de la détermination de l'échantillon de recherche, l'acquisition des images de distribution osseuse au CT-Scan fut réalisée au Laboratoire d'écomorphologie et de paléontologie du Département d'anthropologie de l'Université de Montréal. Les images furent prises à la mi-diaphyse des 1<sup>ers</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> métacarpes droits et gauches à l'aide d'un tomodynamomètre Stratec XCT Research SA+. Les paramètres de l'appareil furent ajustés comme suit :

TABLEAU III SYNTHÈSE DES PARAMÈTRES ET AJUSTEMENTS APPLIQUÉS AU STRATEC XCT RESEARCH SA+

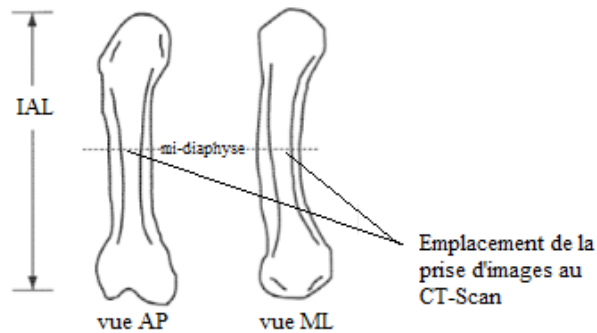
Paramètres	Ajustements
Longueur de l'objet :	50 mm
Diamètre de l'objet :	50 mm
Résolution :	0,07 mm/voxel 1024 x 1024 pxl.
Analyse macro :	OFF.CHE
Position du CT-Scan :	02 = manually*
Use Key :	2* <sup>1</sup>
Ligne de référence et position :	A : 0,00 B : 0,00 C : 0,00 D : 0,00 E : 0,00
Pos. Patient	x : 0,0 y : 90 z : 0,0
Nombre de groupe :	1
Règle de pourcentage (%) :	1
Nombre de coupes :	1
Mode de Pourcentage :	1
Coupe symétrique :	1
Nombre de blocs :	4
Vitesse du Ct-Scan (mm/sec) :	2

\* sans vue générale de l'échantillon

\*<sup>1</sup>permet de déplacer la ligne de numérisation de façon informatique et avec précision

Tous les os ont été positionnés de manière à ce que la partie palmaire repose sur un support en mousse avec la même orientation proximo-distale dans l'appareil. La partie médiale de l'os était à droite pour un os droit et à gauche pour un os gauche, afin de rendre la capture d'image plus uniforme et homogène. Étant donné la taille réduite des éléments osseux à analyser, les os d'un même individu et d'un même côté, droit ou gauche, ont été CT-scannés en même temps, soit de 1 à 3 os à la fois.

FIGURE 9 VUES ANTÉRO-POSTÉRIEURE (AP) ET MÉDIO-LATÉRALE (ML) DU DEUXIÈME MÉTACARPE, MONTRANT LA LONGUEUR INTER-ARTICULAIRE (IAL) ET LE SITE AU MILIEU DE LA DIAPHYSE OÙ A ÉTÉ FAITE LA PRISE D'IMAGE D'ANALYSE EN COUPE. ILLUSTRATION MODIFIÉE DE LAZENBY, 1998.



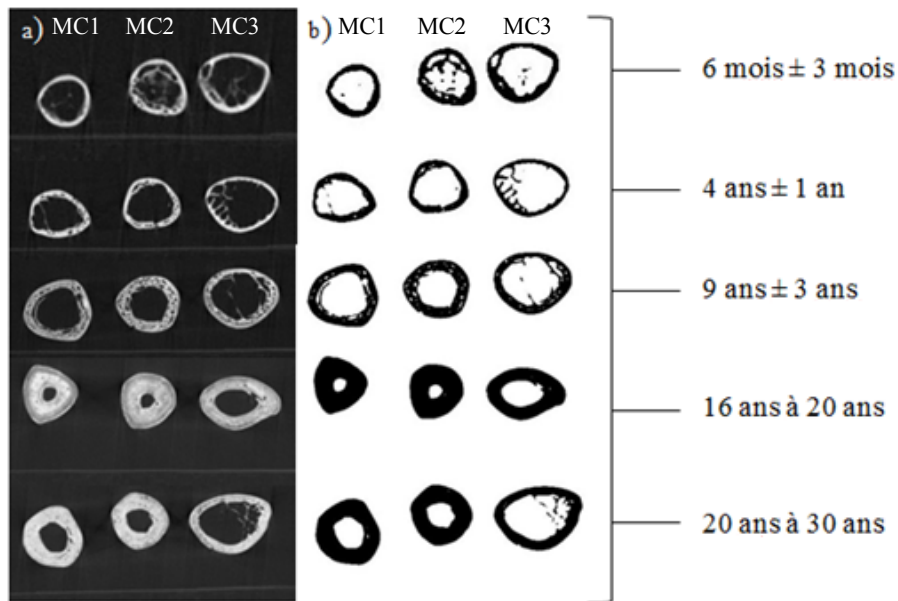
Une fois les images d'analyse en coupe obtenues, la prise de mesure concernant la distribution osseuse fut réalisée à l'aide du logiciel multiplateforme ImageJ et du *plug-in* BoneJ (Doube et coll., 2010). D'abord, les images, devaient être orientées de façon à ce que le quadrant antérieur soit positionné en haut et le quadrant médial soit positionné à droite de l'image. Par la suite, une opération supplémentaire consistait à sélectionner uniquement l'os présent dans l'image, afin d'exclure les artéfacts du processus de numérisation (tapis mousse, particules indésirables, etc.). Les variables retenues pour cette étude sont l'aire corticale en coupe transversale (CSA), le second moment de l'aire maximale (Imax), le second moment de l'aire minimale (Imin) ainsi que l'axe Imin à partir de l'axe Ix (Theta) (Lazenby, 1998) (voir Tableau IV). Le moment polaire de l'aire (J) et l'indice de circularité (Imax/Imin) furent calculés à partir des données mesurées.

TABLEAU IV SYNTHÈSE DES PARAMÈTRES ET DÉFINITION DES VARIABLES

Paramètres	Variables	Définitions
Grosueur	CSA	Résistance à la compression / à la traction.
	Imax	Résistance maximale aux forces de flexion
	Imin	Résistance minimale aux forces de flexion
	J	Rigidité aux forces de torsion
Forme	Imax/Imin	Indique la non-circularité d'un élément osseux, basé sur la tolérance aux forces de flexion
	Theta	Angle de rotation de l'os en fonction de la résistance maximale aux forces de flexion

Ces différentes variables permettent de recueillir différentes informations pertinentes concernant la modulation osseuse, par l'entremise de la réponse adaptative de l'os face aux différentes forces mécaniques (compression, traction, flexion et torsion) (Ruff, 2008 et Lazenby, 2002c). Cette réponse se distingue par un changement prévisible lors de la croissance et lors du dépôt osseux au niveau du périoste ou de l'endoste. Les différentes réponses auront donc un impact au niveau de la grosseur et de la forme de l'os, représentées par les variables ci-dessus, et ce qui permet de documenter le modelage asymétrique d'un élément osseux en fonction des différents stades de croissance.

FIGURE 10 IMAGE D'ANALYSE EN COUPE TRANSVERSALE. A) IMAGES PROVENANT DU CT-SCAN B) IMAGES TRAITÉES AVEC LE LOGICIEL IMAGEJ AFIN DE SÉLECTIONNER UNIQUEMENT LA MASSE OSSEUSE.



### 3.3 Traitement des données

Pour faire suite à l'acquisition des données d'images d'analyse en coupe, toutes les mesures prises à l'aide d'ImageJ ont été transférées dans le logiciel Excel 2016. Ensuite, une valeur d'asymétrie absolue (VA) fut calculée pour le 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> métacarpe pour chaque variable. Ce calcul ne fut applicable qu'aux individus disposant d'au moins une

paire de métacarpes, pour un total de 62 paires (20 MC1, 19 MC2 et 23 MC3). La formule utilisée est celle décrite dans l'article de Steele et Mays (1995) :

$$\frac{(D-G) \times 100}{(D+G)/2}$$

Dans cette formule, le D représente la valeur brute obtenue pour le côté droit d'un élément osseux et le G représente la valeur brute obtenue pour le côté gauche du même élément osseux pour le même individu (Steele et Mays, 1995). Pour les valeurs d'asymétries de la variable Theta, étant des valeurs d'angle la formule plus haut ne s'applique pas, et donc la plus petite valeur, droite ou gauche, fut soustraite de la plus grande, afin d'obtenir une valeur d'asymétrie. L'utilisation des valeurs absolues dans le cas présent visait à éliminer le biais d'un individu gaucher, rendant ainsi la valeur négative. Le but de cette recherche n'étant pas de déterminer la main dominante, mais bien la mise en place de ce phénomène de plasticité qui engendre de l'asymétrie osseuse.

Les valeurs d'asymétrie absolues, ainsi que certaines valeurs brutes (Imax/Imin,) permirent de réaliser différents tests statistiques à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistic version 24 et les graphiques avec le logiciel Excel 2016. Ces tests statistiques ont pour objectif de documenter la mise en place de l'asymétrie ainsi que la mise en place de la forme adulte de la diaphyse des trois premiers métacarpiens. Pour l'ensemble des tests statistiques, l'utilisation de la méthode Monte-Carlo fut utilisée afin de déterminer le seuil de signification fixé à 0,05. Cette méthode vient pallier le nombre restreint d'observations au sein de la distribution d'origine, grâce à un rééchantillonnage aléatoire des données. Ensuite, les statistiques sont recalculées  $n$  fois (dans le cadre de cette recherche  $n=1000$ ) pour les données aléatoires. Ce qui permet d'augmenter la précision du  $p$ -value puisque calculé grâce à la comparaison de l'ensemble des observations statistiques et celles de la distribution de référence (Laurencelle, 2001). Étant donné le nombre restreint de spécimens par catégorie d'âge (voir Tableau I), la suite des analyses statistiques fut faite à l'aide de tests non-paramétriques. Le test de Kruskal-Wallis fut ainsi appliqué aux

différentes valeurs d'asymétrie des trois premiers métacarpes afin de déterminer la présence d'une asymétrie plus prononcée au sein d'une des catégories d'âge (1, 4, 10, 20 et 30). Si ce test s'avérait significatif, le test non-paramétrique de U de Mann-Whitney a été utilisé afin de comparer chaque groupe entre eux, et ce pour chaque métacarpe, afin de déterminer lequel ou lesquels des groupes d'âge étaient différents des autres. Ces deux étapes statistiques furent utilisées sur les valeurs brutes (et non pas d'asymétrie) de la variable I<sub>max</sub>/I<sub>min</sub>, afin d'identifier un changement de forme au sein des différentes catégories d'âge. L'utilisation des valeurs brutes dans ce cas-ci permet d'augmenter le nombre d'individus analysés, puisqu'une analyse par côté droit ou gauche a été faite indépendamment l'une de l'autre et a permis d'inclure les individus qui n'ont qu'un seul côté de préservé.

Afin d'éliminer la probabilité que des différences d'asymétrie des métacarpiens au sein de l'échantillon de recherche puissent s'expliquer par une différence dans la prise des mesures sur les images d'analyse en coupe, la variation intra-observateur fut analysée. Dix-neuf individus (48 images) ont été sélectionnés aléatoirement et analysés de nouveau 8 fois. Ensuite, le pourcentage d'erreur intra-observateur fut calculé pour chaque variable à l'aide de la formule suivante (Santos, 2014):

$$\text{écart-type intra-observateur} / \text{écart-type de l'échantillon} * 100$$

Par la suite, un écart-type moyen pour chaque mesure fut calculé démontrant une variation entre 0,133 % et 1,223 %, pour les valeurs d'écart-type intra-observateur comparées aux valeurs d'écart-type de l'ensemble de l'échantillon de recherche. Cette opération fut répétée par groupe d'âge, une variation entre 0,522 % et 3,315 % fut enregistrée. Ces résultats permettent de conclure que ces variations sont suffisamment faibles (3% et moins) pour ne pas interférer dans les calculs statistiques (Santos, 2014).

## CHAPITRE 4 : RÉSULTATS

### 4.1 La mise en place ontogénique de l'asymétrie

Aucune différence significative d'asymétrie globale n'a pu être observée suite au test Kruskal-Wallis, pour les valeurs d'asymétrie absolues des variables CSA, Imin, Imax, J, Imax/Imin, et ce pour les trois premiers métacarpiens. Cependant, une asymétrie est présente pour la variable Theta, car le test Kruskal-Wallis atteint une valeur seuil de  $p=0,008$  pour le MC2 ainsi qu'une valeur seuil  $p=0,002$  pour le MC3 (Tableau V).

TABLEAU V RÉSULTATS DU TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS D'ASYMÉTRIE ABSOLUES DES TROIS PREMIERS MÉTACARPIENS.

Variables	P-Value Monte Carlo		
	MC1	MC2	MC3
CSA VA	0,101	0,067	0,349
Imin VA	0,949	0,076	0,669
Imax VA	0,468	0,626	0,215
J VA	0,762	0,089	0,212
Imax/Imin VA	0,256	0,103	0,718
Theta VA	0,507	<b>0,008</b>	<b>0,002</b>
N	20	19	23

#### 4.1.1 Résultats significatifs des variables CSA, Imin, Imax, J et Imax/Imin

Un deuxième test statistique fut fait afin de discerné s'il existait une différence d'asymétrie entre les groupes d'âge. Le test de comparaison des groupes d'âge, test U de Mann-Whitney, a permis de discerné seulement quelques résultats significatifs. En effet, pour MC1, on observe une différence d'asymétrie entre les groupes d'âge 1 et 30 pour la variable Imax ( $p=0,046$ ) et entre les groupes d'âge 4 et 30 pour la variable CSA ( $p=0,036$ ) ainsi que pour la variable Imax/Imin ( $p=0,009$ ). Dans le cas des variables Imax et Imax/Imin, la comparaison des groupes tend à supporter une asymétrie croissante,

montrant que l'asymétrie est plus marquée avec l'âge (Tableau VI). Toutefois, la variable CSA démontre un effet contraire, soit une asymétrie plus prononcée en bas âge (groupe 1).

Pour le MC2 seule l'asymétrie de la variable CSA est différente entre les groupes 20 et 30 ( $p = 0,038$ ) avec une asymétrie de l'aire corticale plus prononcée chez les adolescents (groupe 20) que chez les adultes (groupe 30), ce résultat allant dans le même sens que ce qui est observé chez le MC1.

Pour le MC3 les groupes d'âge 1 et 10 ont une différence d'asymétrie décroissante avec l'âge pour les variables I<sub>max</sub> ( $p = 0,036$ ) et de J ( $p = 0,036$ ).

TABLEAU VI MOYENNE ET ÉCART-TYPE DES VALEURS D'ASYMÉTRIE ABSOLUES POUR LES CINQ GROUPES D'ÂGE.

Variables / Groupes	1*		4		10		20		30	
	M*	ET	M	ET	M	ET	M	ET	M	ET
<b>MC1</b>										
	n=3		n=4		n=3		n=4		n=6	
CSA VA	2,73	2,34	4,15	2,5	4,21	2,39	1,84	1,33	1,55	0,96
I <sub>min</sub> VA	2,78	3,25	2,65	2,93	3,95	4,16	2,32	1,6	3,63	2,95
I <sub>max</sub> VA	1,54	0,6	3,22	2,79	5,54	3,75	2,27	1,62	3,25	1,38
J VA	2,1	1,75	2,81	3,04	4,95	3,81	2,18	1,41	3,23	1,81
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub> VA	2,35	1,8	1,03	0,61	1,64	1,8	1,69	0,94	2,47	0,53
Theta VA	0,78	0,61	0,56	0,4	0,52	0,63	0,18	0,16	0,46	0,35
<b>MC2</b>										
	n=4		n=4		n=1		n=4		n=6	
CSA VA	3,96	3,05	2,26	1,21	2,68	.	2,43	1,17	0,7	0,7
I <sub>min</sub> VA	6,7	3,45	1,81	1,26	0,07	.	2,42	1,47	2,42	2,41
I <sub>max</sub> VA	5,78	4,01	1,79	1,54	3,56	.	2,7	2,49	1,78	1,38
J VA	6,18	3,72	1,61	1,58	10,93	.	2,57	2,01	1,29	1,22
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub> VA	1,41	0,96	0,93	0,72	42,22	.	0,99	0,45	3,68	2,32
Theta VA	0,8	0,3	0,74	0,59	0,97	.	1,22	0,25	0,34	0,24
<b>MC3</b>										
	n=5		n=5		n=3		n=4		n=6	
CSA VA	2,27	1,74	5,66	4,25	1,6	2,15	2,25	1,5	1,64	1,01
I <sub>min</sub> VA	6,04	4,65	4,44	2,91	3,7	2,43	5,25	3,5	3,06	2,36
I <sub>max</sub> VA	3,66	1,26	5,25	4,53	1,21	0,52	5,27	2,6	3,59	2,94
J VA	3,99	1,15	4,96	3,59	1,3	0,58	5,3	2,85	3,33	2,43
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub> VA	4	6,61	2,97	2,29	4,19	3,5	1,22	1,09	2,02	0,98
Theta VA	0,43	0,52	0,17	0,09	0,41	0,26	0,47	0,25	1,69	0,7

\*M=Moyenne ET=Écart-type

\*1 = 0 à 1 an; 4 = 1 à 4 ans; 10 = 5 à 10 ans; 20 = 16 à 20 ans; 30 = 20 à 30 ans



TABLEAU VII RÉSULTATS DU TEST U DE MANN-WHITNEY ENTRE LES CINQ GROUPES D'ÂGE POUR LES VARIABLES CSA, IMIN, IMAX, J, IMAX/IMIN ET THETA POUR LES VALEURS D'ASYMÉTRIE ABSOLUES.

Variables / Groupes	1 et 4	1 et 10	1 et 20	1 et 30	4 et 10	4 et 20	4 et 30	10 et 20	10 et 30	20 et 30
<b>P-Value Monte Carlo MC1</b>										
CSA VA	0,405	0,398	0,63	0,544	1	0,195	<b>0,036</b>	0,118	0,096	0,61
Imin VA	0,859	1	0,855	0,714	0,861	1	0,611	0,851	1	0,479
Imax VA	0,859	0,398	0,855	<b>0,046</b>	0,4	0,681	0,762	0,396	0,555	0,479
J VA	0,859	0,705	1	0,544	0,4	0,883	0,762	0,396	0,723	0,354
Imax/Imin VA	0,405	0,705	0,855	0,544	1	0,48	<b>0,009</b>	1	0,555	0,262
Theta VA	0,862	1	0,235	0,377	0,944	0,112	0,474	0,858	1	0,474
n	7	6	7	9	7	8	10	7	9	10
<b>P-Value Monte Carlo MC2</b>										
CSA VA	0,48	0,8	0,486	0,067	1	1	0,068	0,8	0,283	<b>0,038</b>
Imin VA	0,058	0,399	0,114	0,067	0,406	0,679	1	0,4	0,283	1
Imax VA	0,338	0,8	0,343	0,257	0,805	0,679	0,917	1	0,568	0,612
J VA	0,115	0,399	0,2	0,067	0,406	0,486	0,767	0,4	0,283	0,476
Imax/Imin VA	0,485	0,399	0,886	0,171	0,406	0,882	0,116	0,4	0,283	0,116
Theta VA	0,887	0,796	0,114	<b>0,018</b>	0,802	0,201	0,201	0,398	0,283	<b>0,009</b>
n	8	5	8	10	5	8	10	5	7	10
<b>P-Value Monte Carlo MC3</b>										
CSA VA	0,154	0,39	0,904	0,797	0,142	0,415	0,125	1	0,548	0,35
Imin VA	0,84	0,782	0,727	0,332	0,795	0,728	0,436	0,404	0,903	0,258
Imax VA	1	<b>0,036</b>	0,417	0,797	0,71	0,902	0,436	0,055	0,548	0,35
J VA	0,684	<b>0,036</b>	0,29	0,797	0,142	0,556	0,332	0,233	0,382	0,258
Imax/Imin VA	0,684	1	0,904	0,435	0,574	0,415	1	0,404	0,382	0,258
Theta VA	1	0,785	0,556	<b>0,017</b>	0,249	<b>0,033</b>	<b>0,004</b>	0,852	<b>0,025</b>	<b>0,008</b>
n	10	8	9	11	8	9	11	7	9	10

#### 4.1.2 Résultats significatifs pour la variable Theta

Concernant les valeurs de Theta, les groupes d'âge 1 et 30 démontrent un angle de torsion plus asymétrique chez les individus en très bas âge 0 à 1 an ( $p = 0,018$ ) pour le MC2. De même, les individus du groupe d'âge 20 sont plus asymétriques que ceux du groupe d'âge 30 ( $p = 0,009$ ). Pour le MC3, on note une asymétrie pour l'angle de torsion (Tableau VI), clairement croissante entre : la période juvénile (groupe d'âge 1, 4 et 10); et les deux groupes d'âge adulte (groupe d'âge 20 et 30); entre les groupes d'âge 1 et 30 ( $p = 0,017$ ); entre les groupes d'âge 4 et 20 ( $p = 0,033$ ); et les groupes d'âge 4 et 30 ( $p = 0,004$ );

entre les groupes d'âge 10 et 30 ( $p = 0,025$ ); et entre les groupes d'âge 20 et 30 ( $p = 0,008$ ) (Tableau VII).

#### 4.2 La mise en place ontogénique de la forme (unilatérale)

Le test de Kruskal-Wallis a permis de détecter un changement différence de forme (imax/imin) entre les différents groupes d'âge pour le MC1 gauche ( $p=0,000$ ) et pour le droit ( $p=0,000$ ). Le test pour le MC3 gauche n'est pas significatif, mais il s'approche du seuil de signification ( $p=0,058$ ). Ce premier test n'a permis pas de détecter un changement de forme pour le MC2 gauche ou droit (Tableau VIII). Aucun autre test n'est significatif.

TABLEAU VIII RÉSULTATS DU TEST KRUSKAL-WALLIS POUR LES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE IMAX/IMIN DES CÔTÉS GAUCHE ET DROIT DES TROIS PREMIERS MÉTACARPIENS

Variable	P-Value Monte Carlo		
	MC1 G	MC2 G	MC3 G
Imax/Imin	0,000	0,129	0,058
n	25	29	30
Variable	P-Value Monte Carlo		
	MC1 D	MC2 D	MC3 D
Imax/Imin	0,000	0,092	0,269
n	22	26	26

##### 4.2.1 Ontogénie de la forme du 1<sup>er</sup> métacarpe

Les MC1 gauche et droit changent de forme progressivement au niveau du diamètre de la diaphyse, devenant de plus en plus ovales pendant la période juvénile, particulièrement pour les métacarpes gauche (groupes d'âge de 1 à 20) (Tableau IX). Les MC1 du groupe d'âge 1 sont très circulaires et deviennent graduellement de plus en plus ovales avec les groupes d'âge 4 et 10. Bien que cette forme ovale persiste à l'âge adulte, il fut observé un arrondissement atténué (mais non significatif) chez les individus du groupe d'âge 30.

## 4.2.2 Ontogénie de la forme du 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> métacarpe

Le MC2 est le métacarpe ayant le moins de changement lié à l'indice de circularité selon l'âge. Pour le côté gauche, seuls les groupes d'âge 1 et 10 ont une forme différente ( $p = 0,034$ ) les individus les plus vieux présentent une forme plus ovale. Les groupes d'âge 4 et 10 sont différents ( $p= 0,046$ ), mais les individus plus vieux ont une forme plus ronde est démontré (Tableau X).

Pour le MC3, seules deux comparaisons de groupes d'âge sont significatives soit celle des groupes d'âge 4 et 30 ( $p=0,006$ ) pour le MC3 gauche, et pour le MC3 droit ( $p=0,028$ ). Contrairement au MC1, ce métacarpe semble devenir plus arrondi pour le groupe d'âge 30.

TABLEAU IX MOYENNE ET ÉCART-TYPE DES VALEURS BRUTES DE I<sub>MAX</sub>/I<sub>MIN</sub> DES CÔTÉS GAUCHE ET DROIT POUR LES CINQ GROUPES D'ÂGE.

Variable / Groupes	1		4		10		20		30	
	M*	ET	M	ET	M	ET	M	ET	M	ET
<b>MC1 G</b>										
	n=6		n=5		n=4		n=4		n=6	
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	1,36	0,1	1,51	0,12	1,6	0,16	2,23	0,4	1,88	0,38
<b>MC1 D</b>										
	n=4		n=5		n=3		n=4		n=6	
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	1,32	0,19	1,52	0,16	1,78	0,06	2,18	0,34	1,98	0,23
<b>MC2 G</b>										
	n=9		n=7		n=3		n=4		n=6	
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	1,39	0,16	1,35	0,15	1,17	0,07	1,21	0,07	1,27	0,19
<b>MC2 D</b>										
	n=6		n=8		n=2		n=4		n=6	
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	1,28	0,17	1,39	0,13	1,1	0,06	1,25	0,1	1,39	0,23
<b>MC3 G</b>										
	n=7		n=8		n=5		n=4		n=6	
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	1,64	0,5	1,55	0,21	1,39	0,24	1,35	0,23	1,2	0,15
<b>MC3 D</b>										
	n=7		n=6		n=3		n=4		n=6	
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	1,35	0,19	1,49	0,21	1,36	0,13	1,36	0,3	1,22	0,14

\*M=Moyenne ET=Écart-type

TABLEAU X RÉSULTATS DU TEST U DE MANN-WHITNEY ENTRE LES CINQ GROUPE D'ÂGE DE LA VARIABLE I<sub>MAX</sub>/I<sub>MIN</sub> POUR LES VALEURS BRUTES DES CÔTÉS GAUCHE ET DROIT.

Variable / Groupes	1 et 4	1 et 10	1 et 20	1 et 30	4 et 10	4 et 20	4 et 30	10 et 20	10 et 30	20 et 30
<i>P-Value Monte Carlo MC1 G</i>										
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	<b>0,033</b>	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>	<b>0,002</b>	0,555	<b>0,017</b>	<b>0,016</b>	<b>0,029</b>	0,17	0,106
n	11	10	10	12	9	9	11	8	10	10
<i>P-Value Monte Carlo MC1 D</i>										
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	0,187	0,057	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	0,144	<b>0,03</b>	<b>0,009</b>	0,404	0,26	0,359
n	9	7	8	10	8	9	11	7	9	10
<i>P-Value Monte Carlo MC2 G</i>										
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	0,608	<b>0,034</b>	0,076	0,228	0,183	0,163	0,438	0,619	0,549	0,914
n	16	12	13	15	10	11	13	7	9	10
<i>P-Value Monte Carlo MC2 D</i>										
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	0,145	0,289	0,91	0,398	<b>0,046</b>	0,115	1	0,136	0,145	0,357
n	14	8	10	12	10	12	14	6	8	10
<i>P-Value Monte Carlo MC3 G</i>										
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	1	0,332	0,416	0,052	0,226	0,282	<b>0,006</b>	0,903	0,177	0,255
n	15	12	11	13	13	12	14	9	11	10
<i>P-Value Monte Carlo MC3 D</i>										
I <sub>max</sub> /I <sub>min</sub>	0,371	1	1	0,235	0,554	0,473	<b>0,028</b>	0,855	0,26	0,477
n	13	10	11	13	9	10	12	7	9	10

### 4.3 Résumé des résultats

À partir de l'échantillon étudié, il n'y a aucune évidence claire de développement ontogénique de l'asymétrie des trois premiers métacarpes pour les variables suivantes, CSA, I<sub>min</sub>, I<sub>max</sub>, J et I<sub>max</sub>/I<sub>min</sub>. En effet, seules quelques variables peuvent se définir comme devenant de plus asymétriques avec l'âge : I<sub>max</sub> pour le MC3 par exemple ou encore I<sub>max</sub>/I<sub>min</sub> pour le MC1. La différence la plus marquée est observée avec la variable Theta du MC3 (Tableau VI et Figure 11). À l'opposé, plusieurs autres variables indiquent plutôt une asymétrie décroissante avec l'âge, c'est le cas pour la variable CSA du MC1. Il est intéressant de noter une asymétrie fortement marquée au sein du groupe 1 (0 à 1 an), et ce, pour l'ensemble des variables. Concernant la mise en place de la forme osseuse des trois premiers métacarpes, on note que le MC1 devient de plus ovale avec l'âge. Le premier

métacarpe se développe donc à partir d'un os de forme très circulaire et s'aplatit quelque peu laissant place à une forme finale très ovale, pour le côté gauche et droit (voir Figure 14). Aucune évidence de changement de forme n'est notée pour le MC2 (voir Figure 12 et 13). Le troisième métacarpe, contrairement au 1<sup>er</sup>, se développe à l'aide d'un os plutôt ovale vers une forme finale très arrondie (voir Figure 15).

FIGURE 11. GRAPHIQUE REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS D'ASYMÉTRIE ABSOLUES DE LA VARIABLE THETA DÉMONTRANT UN CHANGEMENT D'ASYMÉTRIE POUR LES TROIS PREMIERS MÉTACARPES.

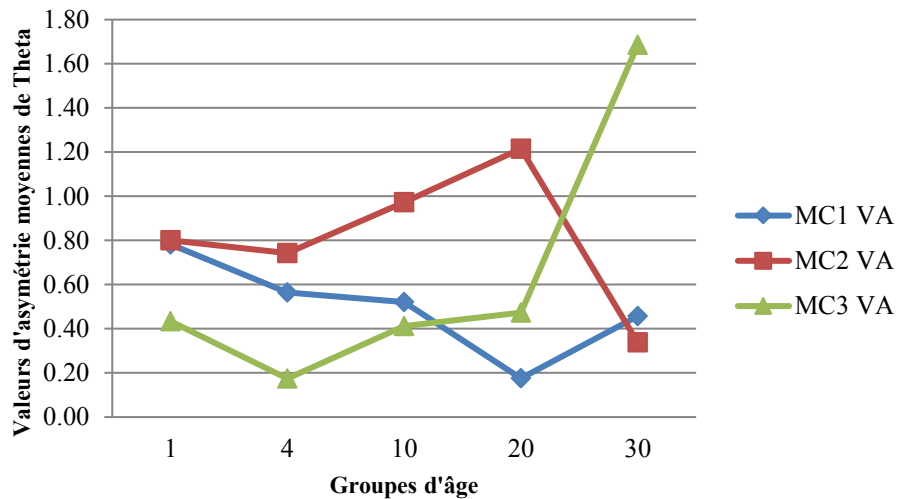


FIGURE 12 GRAPHIQUE REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE I<sub>MAX</sub>/I<sub>MIN</sub> DÉMONTRANT UN CHANGEMENT DE FORME SIGNIFICATIF POUR LE 1<sup>ER</sup> ET 3<sup>E</sup> MÉTACARPIENS GAUCHES.

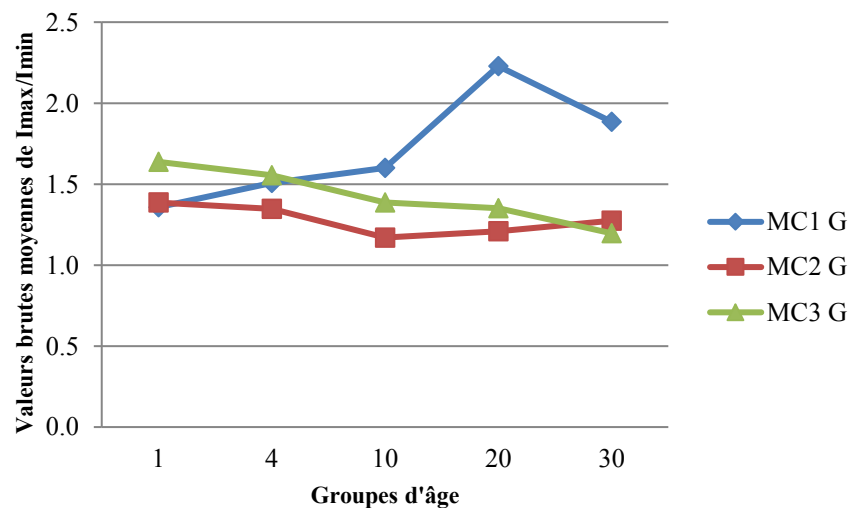


FIGURE 13 GRAPHIQUE REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE I<sub>MAX</sub>/I<sub>MIN</sub> DÉMONSTRANT UN CHANGEMENT DE FORMES SIGNIFICATIF POUR LE 1<sup>ER</sup> ET 3<sup>E</sup> MÉTACARPIENS DROITS.

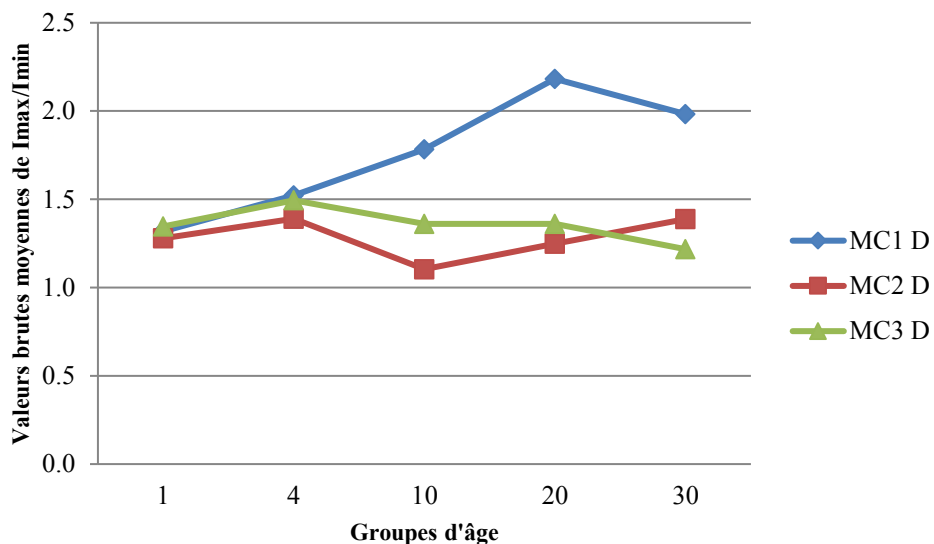


FIGURE 14 GRAPHIQUES REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE I<sub>MAX</sub>/I<sub>MIN</sub> DÉMONSTRANT UN CHANGEMENT DE FORME SIGNIFICATIF DU MC1 GAUCHE ET DROIT.

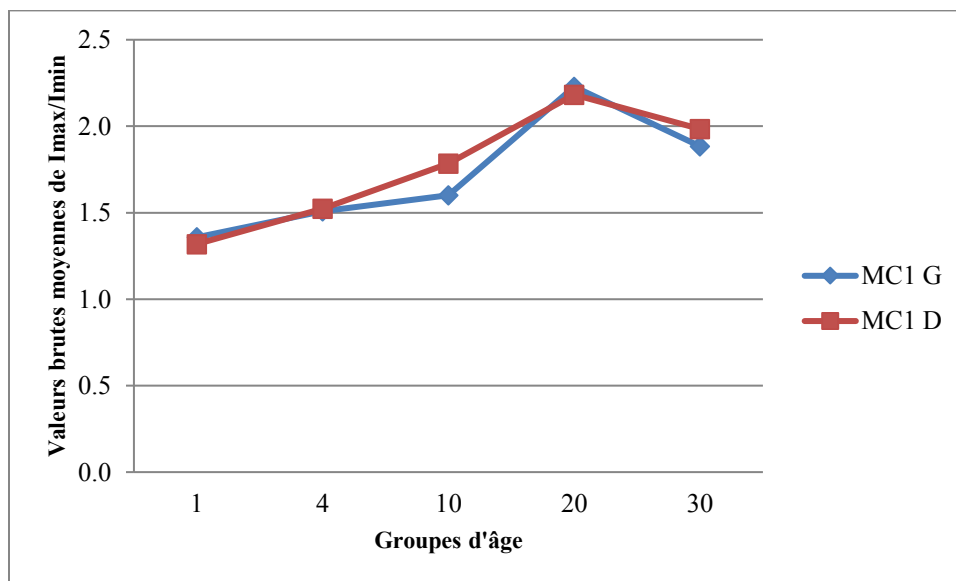
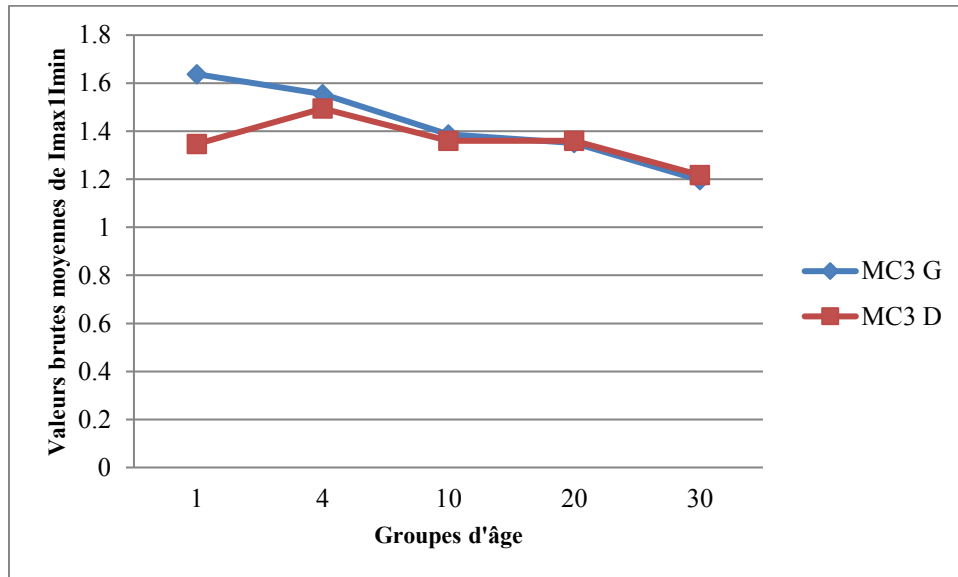


FIGURE 15 GRAPHIQUES REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENCES DE MOYENNES DES VALEURS BRUTES DE LA VARIABLE I<sub>MAX</sub>/I<sub>MIN</sub> DÉMONTRANT UN CHANGEMENT DE FORME SIGNIFICATIF DU MC3 GAUCHE ET DROIT PAR GROUPES D'ÂGE.



## CHAPITRE 5 : DISCUSSION

### 5.1 Discussion générale

On sait depuis longtemps que les os des mains sont asymétriques (Baer et Durkatz, 1957; Dreizen et coll., 1957; Garn et coll. 1976), avec le côté droit généralement plus massif (Plato et coll., 1980; Plato et coll., 1982; Roy et coll., 1994; Lazenby, 2002c et Lazenby et coll. 2008). Lazenby (2002c) démontra la présence d'une asymétrie marquée du deuxième métacarpe chez les adultes d'une population Euro-Canadienne (cimetière Anglican de St. Thomas, Belleville, Ontario). En parallèle avec ces études, l'objectif de ce mémoire était de tester l'hypothèse de la plasticité osseuse et de documenter l'ontogénie de la mise en place de l'asymétrie des trois premiers métacarpiens. Pour ce faire, l'asymétrie des trois premiers métacarpes fut calculée pour plusieurs variables et par la suite comparée entre les différents groupes d'âge de l'échantillon de recherche provenant de populations Euro-Canadiennes pour tenter de faire un lien entre développement de la manipulation chez les juvéniles et le développement de l'asymétrie.

Les résultats obtenus réfutent l'hypothèse **H<sub>1</sub>** qui stipulait que les os seraient généralement plus grands du côté droit, étant donné que 90 % de la population mondiale est droitère. Les résultats réfutent aussi l'hypothèse **H<sub>2</sub>** qui stipulait que l'apparition de l'asymétrie directionnelle des métacarpiens serait corrélée avec le développement de la manipulation. Étant donné que la manipulation de précision fait son apparition dès l'âge de 5 ans et est pratiquement équivalente à celle d'un adulte entre 7 et 10 ans, j'avais postulé que dès 10 ans un début d'asymétrie serait perceptible au sein de mon échantillon. Les résultats contredisent aussi l'hypothèse **H<sub>3</sub>** selon laquelle une non circularité des métacarpes sera observé du côté droite.



## 5.2 Ontogénie de l'asymétrie des trois premiers métacarpes

La préférence manuelle, ou «handeness», fut observée et documentée par plusieurs chercheurs (Michel, 1981 ; Coakley et Brown, 1986 ; Butterworth et coll., 1993 ; Perelle et Erhman, 1994 ; Steele, 2000 ; Annett, 2002 ; Michel et coll., 2002 ; Corbetta et coll., 2006 ; Blackburn et Knüsel, 2006 ; Kujanová et coll., 2008). De plus, plusieurs études révélèrent une corrélation entre le côté dominant et la distribution osseuse des os longs supérieurs (Garn, 1976 ; Trinkaus, 1978 ; Plato et coll. 1978 ; Plato et Norris, 1980 ; Roy et coll., 1994 ; Ruff et coll., 1994 ; Trinkaus et coll., 1994 ; Albert et Greene, 1999 ; Lazenby, 2002a ; Auerbach and Ruff, 2006 ; Westcott et Cunningham, 2006 ; Lazenby et coll., 2008). Les résultats de la présente étude vont à l'encontre du consensus scientifique. En effet, aucune asymétrie directionnelle que ce soit du côté gauche ou du côté droit pour les trois premiers métacarpes n'a été observée. Une explication provient possiblement du mode de vie rural des deux populations étudiées, Sainte-Marie de Beauce et Pointe-aux-Trembles. Le défrichage des terres et le travail de celle-ci, recrutaient probablement les deux mains de façon équivalente. Les tâches uni-manuelles, ou nettement préférentielles pour un côté, peuvent ne pas avoir eu la même fréquence relative que dans les populations moins rurales. L'usage d'outils agricoles, tel que mentionné à la section 3.1.3, demandait l'engagement des deux mains lors l'utilisation (Provost, 1970 ; Dechêne, 1974), se traduisant en charges mécaniques égales pour les deux mains. Ceci aurait donc limité l'apparition d'une asymétrie au niveau des métacarpes, reflété par le manque de résultats significatifs au sein de l'échantillon étudié pour les variables suivantes : CSA, Imin, Imax, J, Imax/Imin et Theta (Tableau V et Tableau VI). Bien que sur l'ensemble de l'échantillon, aucun schème de latéralisation ne put être détecté, certains résultats plus précis sont à examiner.

Au sein de l'échantillon de recherche, plusieurs variables, et ce pour tous les métacarpes confondus, exposent une asymétrie réduite pour le groupe d'âge 30 (20 à 45 ans). Ces résultats viennent à l'encontre de ce qui fut observé par d'autres (Lazenby, 2002a, b, 2008 ; Roy et coll., 1994 ; Ruff et coll., 1994 ; Plato et Norris, 1980), qui

s'accordent sur la présence d'une asymétrie marquée chez les adultes pour toutes les populations observées. Mes résultats sont d'autant plus surprenants lorsque comparés aux résultats de Lazenby (2002a, c), puisqu'il a mené ses études sur une population de pionniers aussi d'origine Euro-canadienne, il est important de mentionner que la population de Belleville vécu au 19<sup>e</sup> siècle en milieu urbain. Cette différence de résultats est possiblement due à la différence de grosseur des échantillons de recherche. En effet, la présente étude n'ayant inclus que de six individus adultes, il se peut que l'échantillon soit non représentatif de la population d'origine.

### **5.2.1 Le cas des asymétries croissantes et décroissantes**

Jusqu'à maintenant, peu d'études ont tenté de mettre en relation l'asymétrie des trois premiers métacarpes, et les causes pouvant expliquer son développement. Dû à ce manque de documentation sur le sujet, il est ardu de bien comprendre et interpréter la présence d'asymétrie croissante pour la variable  $I_{max}$  et  $I_{max}/I_{min}$  pour le MC1 ainsi que pour la variable  $\Theta$  pour le MC3 et la présence d'asymétrie décroissante pour la variable  $CSA$  pour le MC1 et le MC2 ainsi que pour les variables  $I_{max}$  et  $J$  pour le MC3. Sans avoir pu déterminer une préférence à gauche ou à droite, la présence d'une asymétrie indique, toutefois, qu'une main sera plus sollicitée et sujette à une plus grande asymétrie de la direction des charges à la suite de répétitions de certains mouvements.

L'étude de Roy et collègues (1994), permet d'offrir certaines comparaisons pour la variable  $I_{max}$  (second moment d'aire maximale). Ces derniers ont noté que l'asymétrie sera plus marquée en fonction du côté dominant de l'individu pour le second moment de l'aire ( $I$ ) chez les adultes. Mes résultats indiquent qu'il y a une asymétrie croissante, entre les groupes d'âge 1 et 30 pour le MC1 ainsi qu'une asymétrie décroissante entre les groupes d'âge 1 et 10 pour le MC3. Pour le MC1, l'asymétrie est plus marquée chez les individus adultes : ces résultats viennent corroborer ce qu'ont documenté Roy et collègues. Toutefois, bien qu'une asymétrie soit présente pour le MC3, celle-ci se voit être décroissante et plus importante en bas âge, ce qui rend son interprétation plus difficile.

Sans toutefois réfuter les résultats de Roy et collègues, leur comparaison pour le MC3 reste limitée, puisque cette recherche fut faite sur des individus adultes. Il semblerait qu'une sollicitation soit inégale entre le MC1 gauche et le MC1 droit lors de mouvements entraînant la flexion des doigts. Cette observation vient en quelque sorte à l'encontre de ce qui fut mentionné plus haut où on assumait un recrutement égal des deux mains. Il semble que la préhension d'outil impose la flexion des doigts autour de celui-ci, créant une contraction musculaire et donc une contrainte plus grande du côté dominant sur les premiers métacarpes afin de stabiliser l'outil et la main, lorsque celui-ci se trouve en l'air et lors de l'impact au sol. En contraste, pour le MC3, il semblerait que la différence entre les côtés droit et gauche soit plus présente en bas âge (moins de 1 an), ce qui indique des causes de nature biologiques et développementales lors du modelage osseux, plutôt que des causes socio-environnementales.

Une asymétrie décroissante fut notée pour la variable J du MC3, lors de la comparaison des groupes d'âge 1 et 10. La variable J est proportionnelle à la rigidité torsionnelle, ainsi que la rigidité de flexion moyenne en deux plans perpendiculaires soit  $I_{min}$  et  $I_{max}$  (Ruff, 2008). C'est pourquoi tout comme la variable  $I_{max}$  pour le MC3, l'asymétrie de J décroît puisque corrélée à l'asymétrie d' $I_{max}$ .

Également, la présence d'une asymétrie décroissante pour la variable CSA pour le MC1 et MC2 en référence à la comparaison des groupes d'âge 4 et 30 (MC1) ainsi qu'entre les groupes d'âge 20 et 30 (MC2) reste un phénomène surprenant. En effet, l'asymétrie étant plus marquée chez le groupe d'âge 4 (MC1) et 20 (MC2) plutôt qu'à l'âge adulte; rend les causes de cette diminution d'asymétrie difficile à cerner. Lazenby (1998a) expose des résultats intéressants concernant la variable CSA ainsi que l'aire totale du deuxième métacarpe. Il observa sur un échantillon d'individus âgés entre 17 et 88 ans, que le pourcentage d'aire corticale diminue avec l'âge, chez les deux sexes, bien que de façon plus marquée chez les femmes. Chez les hommes, l'aire totale semble diminuer davantage du côté droit avec le vieillissement, tandis que chez les femmes l'aire totale ne semble pas être affectée par le processus de sénescence. Cette diminution asymétrique de l'aire corticale

chez le MC1 et le MC2 serait la conséquence de la résorption progressive de l'endoste avec le vieillissement de l'individu (Lazenby, 1998a). Cette explication s'applique aisément à ce qui fut observé auprès du MC1 et du MC2 de mon échantillon, puisque les comparaisons de groupe furent pratiquées sur des individus âgés de 2 à 4 ans et 20 à 45 ans (MC1) et de 16 à 45 ans (MC2). En effet, les études du deuxième métacarpien, à la fois transversales et longitudinales, indiquent que la surface de l'endoste passe d'un état de résorption distinctive pendant l'enfance et au début de l'adolescence à une formation nette à la mi-adolescence jusqu'à un âge avancé (40 ans), après quoi un retour à la résorption est perceptible. La surface du périoste, en revanche, est toujours dans un état de formation nette, quoiqu'à un rythme très lent après l'adolescence (Garn, 1970). Ce phénomène propose une explication à l'asymétrie décroissante observée pour la variable CSA pour le MC1. Il semblerait que la production de masse osseuse soit déterminée dès les premières années de vie d'un individu. Cette distribution osseuse serait influencée et déterminée par la préférence manuelle dès l'âge de 3 à 5 ans, âge à auquel un début de manipulation de précision commence à apparaître. Cette activité comportementale peut venir freiner la résorption osseuse du côté préférentiel et créer une plus grande asymétrie en bas âge. La résorption à l'âge adulte s'explique à l'aide du modèle proposé par Ruff et collègues (1994) sur la distribution osseuse, suite à des observations faites auprès de jeunes adultes actifs et sédentaires. Ils constatèrent que les adultes ayant eu une période juvénile active produiront, au niveau du périoste, une plus grande masse osseuse. Ils ne perdront que très peu de matière osseuse au niveau de l'endoste au cours de leur vie. À l'inverse, des enfants au mode de vie sédentaire, augmentant une fois adulte leur activité physique, n'obtiendront qu'une faible augmentation de masse osseuse au périoste et auront une perte considérable à l'endoste. Cette explication peut éclairer le cas du MC2 étant donné qu'une asymétrie est plus présente chez le groupe d'âge 20. Il semblerait que les activités imposant des contraintes asymétriques pour ce métacarpe ne se développent que tardivement dans la vie des individus étudiés et pouvant se refléter par une perte inégale entre le côté gauche et le côté droit au niveau de l'endoste.

Par ailleurs, il est pertinent de mentionner que les résultats pour la variable CSA viennent confirmer les observations faites par Roy et collègues (1994), car aucune différence significative pour l'épaisseur corticale et le pourcentage d'aire corticale entre les deux côtés ne fut démontrée. L'étude de Roy et collègues étant une recherche faite sur des individus adultes, elle vient supporter l'asymétrie décroissante pour cette variable, ne laissant aucune asymétrie perceptible à l'âge adulte. En revanche, contrairement à ce qui fut observé au sein de l'étude actuelle pour le CSA, Plato et collègues (1978) notèrent qu'un des deuxième métarpes se voit plus robuste sur le plan de l'aire corticale et le pourcentage d'aire corticale. Néanmoins, mettant en lumière certaines limites de l'impact mécanique du côté dominant, Plato et collègues (1980) observèrent dans le cas où le côté dominant est le gauche, une distribution osseuse préférentielle s'observait tout de même chez le métacarpe droit, réduisant ainsi le degré d'asymétrie. Cette distribution osseuse préférentielle pour le côté droit pourrait être d'origine génétique. L'aspect génétique qui semble favoriser la croissance du côté droit serait neutralisé et stabilisé par les fortes demandes mécaniques sollicitant la production osseuse du côté gauche. De plus, l'étude menée par Plato et collègue en 1978, n'enregistra aucune corrélation négative ou positive avec le vieillissement après l'âge de 30 ans. Leur étude de 1980 démontre une asymétrie à droite dans tous les groupes d'âge entre 25 et 90 ans, contrairement à ce qui fut observé quelques années plus tard par Lazenby (1998a). Néanmoins, toutes deux évoquent des stress différentiels de la main dominante sur la distribution osseuse en bas âge (modelage osseux), influençant l'aire corticale à l'âge adulte (Plato et collègue, 1980 et Lazenby, 1998a).

Seule la variable Theta se démarque par une asymétrie croissante perceptible à travers plusieurs groupes d'âge (1 et 30 ; 4 et 20 ; 4 et 30 ; 10 et 30 ; 20 et 30) pour le troisième métacarpe (Figure 11). Cependant, aucune étude ne s'est encore attardée à cette variable représentant l'angle de torsion de l'os en fonction de la résistance maximale aux forces de flexion. Il est donc possible que ceci soit dû à une augmentation de la répétition et de l'intensité d'un mouvement engendrant une force de flexion distinctive au troisième métacarpe durant la vie des individus. En revanche, bien que pour le MC3 le groupe

d'âge 30 soit le plus asymétrique, ceci ne se reflète pas pour le MC1 et le MC2 où les groupes d'âge 1 (MC1) et 20 (MC2) sont les plus asymétriques. De ce fait, l'absence d'asymétrie significative à l'âge adulte peut être due à leur positionnement anatomique. En effet, le premier métacarpe dispose d'un positionnement antérieur lui permettant une plus grande mobilité (Marieb et Hoehn, 2010), toutefois, cette mobilité s'acquiert en bas âge (groupe d'âge 1) lors du modelage osseux, plutôt que lors du développement de la manipulation, puisqu'une asymétrie décroissante est perceptible pour les groupes d'âge 4, 10 et 20. Cependant, pour le groupe d'âge 30, une augmentation de l'asymétrie, bien que minime et moindre que le groupe d'âge 1, est visible. Cette petite augmentation peut être due, comme pour le MC3, à l'augmentation de répétition et de l'intensité des tâches à accomplir une fois adulte. La courbe d'asymétrie pour le deuxième métacarpe reste la plus étonnante, car on observe alors une asymétrie croissante entre les groupes d'âge 1, 4, 10 et 20, puis une chute drastique pour le groupe d'âge 30. Toutefois, la diminution drastique observée à l'âge adulte reste mal comprise, mais pourrait être une conséquence du petit effectif de l'échantillon.

Étant donné les résultats inconstants reliés à quelques variables, aucune préférence manuelle ne put être diagnostiquée avec cet échantillon. Ayant effectué plusieurs tests consécutifs et n'ayant pas pratiqué la correction de Bonferroni (qui corrige le seuil de signification selon le nombre de tests effectués (pour réduire les erreurs de type I), une proportion des résultats significatifs obtenus pourrait être le résultat de faux positifs. L'échantillon de recherche étant composé principalement de juvéniles, il est probable que certaines pathologie et maladies (non perceptible sur l'os tel que la malnutrition) soient la cause d'un décès prématuré. De plus, l'échantillon de recherche reste très petit; il y a donc une possibilité que les données recueillies ne soient pas représentatives de la réalité, d'où l'observation d'asymétrie qui croit et décroît pendant l'ontogénie. Aussi, une quantité d'os cortical est ignorée lors de la manipulation des images à l'aide du logiciel ImageJ et plus précisément lors du traitement de celle-ci au « Threshold » (processus permettant de sélectionner la partie osseuse de l'image et d'en ignorer le reste). Une meilleure résolution d'image aiderait à réduire l'incertitude liée à la

sélection de l'os à analyser. La non sélection d'une partie de l'os, bien que parfois minime, a probablement un impact sur l'analyse de la distribution osseuse et l'interprétation des résultats (Lazenby et coll., 2008), surtout chez les individus de petite taille comme les juvéniles, puisque disposant au préalable de peu de masse osseuse.

### **5.2.2 Le stade d'apparition de l'asymétrie**

Bien que la recherche se soit tournée sur la documentation des stades développementaux de la manipulation et de la dextérité fine (Lesné et Peycelon, 1934, Corbetta et coll., 2006, Vauclair et Imbault, 2009, Michel et coll., 2001, Butterworth et Itakura, 1998, Gesell et Ames, 1947, Scharoun et Bryden, 2014, Steele et Uomini, 2005), seules quelques études ont tenté de faire le pont entre ces comportements physiques et l'impact sur la réponse osseuse dans une perspective ontogénique (Baer et Durkatz, 1957 et Dreizen et collègues, 1957, Ruff et coll., 1993 ; Ruff et coll., 1994 ; Pearson et coll., 2004). Les observations intragroupes permirent de discerner que le groupe d'âge 1 (moins de 1 an) était le plus asymétrique et ceci s'observe pour les trois premiers métacarpes. Cette observation vient en quelque sorte confirmer ce qui fut observé par Baer et Durkatz (1957), ainsi que Dreizen et collègues (1957). Leurs études sur l'apparition et la maturation différentielle des points d'ossification entre la main droite et la main gauche pour les métacarpes confirmèrent une maturation préférentielle des points d'ossification primaire et secondaire pour la main droite, et ce en bas âge avant l'apport de la manipulation. Une étude plus récente (Hepper et coll., 1998) identifia une préférence du bras droit pour les mouvements intra-utérins, chez les fœtus de 10 semaines, avant même un développement cérébral de latéralisation, mais provenant d'une asymétrie du cerveau déjà en place à cet âge (Lazenby, 2002c). Ce modèle peut donner une explication à l'asymétrie intragroupe plus prononcée pour le groupe d'âge 1.

Étant donné qu'au sein de mon échantillon le groupe d'âge 1 est le plus asymétrique, on peut en conclure que cette observation relève de facteurs génétiques et développementaux *in vivo*, plutôt que d'interactions socio-environnementale. Cette

asymétrie prononcée s'explique par la grosseur des spécimens osseux présents dans le groupe d'âge 1, constitué de petit os et donc d'une petite masse osseuse : un changement minime (dépôt ou résorption osseuse) aura donc un impact considérable sur les mesures d'asymétrie. Puisque seule la variable Theta a permis d'observer une linéarité de l'asymétrie avec l'âge de façon constante et significative, et qu'aucune linéarité dans la manifestation de l'asymétrie n'est perceptible pour les autres variables analysées, aucun âge ne put être déterminé comme moment charnière dans l'apparition et la mise en place de l'asymétrie. Par le fait même, ces résultats ne peuvent supporter les observations comportementales ayant déterminé l'âge approximatif de la mise en place de l'unidextérité entre 5 et 10 ans, bien que ces résultats ne doivent pas être considérés comme définitifs.

### **5.3 Ontologie de la forme des trois premiers métacarpes**

La variable  $I_{max}/I_{min}$  indique la non-circularité d'un élément osseux, basé sur la tolérance aux forces de flexion. Les résultats suggèrent une relation positive entre la mise en place d'un développement non circulaire de la forme et celle des facteurs biomécaniques liés à la manipulation. En d'autres termes, la forme osseuse subit les impacts des charges mécaniques venant préférentiellement d'une direction lors du modelage.

Pour les MC1 gauche et droit, un changement de forme s'installe durant la période juvénile (groupes d'âge 1 à 20). Cette mise en place allant d'une forme circulaire (groupe d'âge 1) vers une forme de plus en plus ovale s'observe principalement pour le groupe d'âge 10. Une progression se maintient de manière linéaire pour le côté droit et une progression plus abrupte est observée pour le côté gauche jusqu'à l'âge adulte (groupe d'âge 20). Par la suite, un arrondissement atténué est perceptible pour les individus adultes (groupe 30), quoique cette atténuation soit non significative. Ce processus est présent pour les deux côtés, mais un peu plus marqué pour le côté gauche (Figure 14).



Une première explication concernant ce changement de forme proviendrait de la fonction dominante de certains os par rapport à d'autres. En effet, les ossements ayant une fonction moins dominante auront tendance à être circulaires, puisqu'ils sont moins sujets aux forces mécaniques, contrairement à ceux dominants qui subiront souvent des charges dans un plan particulier et répétitif, venant ainsi altérer et modifier la forme osseuse (Lazenby, 2002c). Ceci fut notamment démontré lors d'études portant sur la géométrie en coupe transversale du deuxième métacarpe (Lazenby, 1998a, b). Dans le cas du MC1, sa fonction dominante est bien présente, étant le métacarpe le plus fort et engagé dans la majorité des poignes lors de la préhension, la stabilisation et la manipulation d'objet. Le développement de sa forme ovale bien qu'associée à la dominance de l'os serait corrélé avec l' $I_y$  et  $I_{max}$  et négativement corrélé avec l' $I_x$  et  $I_{min}$ . Ce qui suggère l'augmentation des forces de flexion médio-latérales associées avec l'augmentation de la non-circularité de l'os (Lazenby, 1998a). Un phénomène similaire s'observe à la mi-diaphyse de l'humérus, où une forme moins circulaire s'installe progressivement avec l'âge (Trinkaus et collègues, 1994). Lazenby (1998a) observa que les adultes plus âgés ont des valeurs  $I_{max}/I_{min}$  plus grandes que les plus jeunes adultes. Ceci vient à l'encontre de ce qui est observé pour le MC1 avec la présence d'un arrondissement atténué (non significatif) pour le groupe d'âge 30 (20 à 45 ans). Chez les hommes, la perte osseuse semble affecter seulement la partie radiale (latérale) du cortex, tandis que chez les femmes, ce sont les parties radiales et ulnaires (médiales) qui sont touchées. La perte osseuse est plus rapide avec l'âge pour la partie radiale confirmant la perte osseuse sur le plan médiolatéral (Lazenby, 2002b). L'arrondissement observé au sein du groupe d'âge 30 pourrait être dû à une diminution de la masse osseuse pour le plan médiolatéral à la suite d'une baisse de sollicitation manuelle avec le temps.

L'absence d'un changement de forme lors du modelage osseux pour le deuxième métacarpe reste surprenant, sachant que le métacarpe est le plus résistant aux forces de flexion dorsopalmaire et médiolatérale (Lazenby, 1998a). Il est certes étonnant de faire une telle constatation puisqu'il a été documenté que le MC2 est certainement l'un des métacarpes les plus engagés dans la manipulation d'objet (après le MC1) et fortement

affecté par les charges mécaniques. En effet, Marzke (1997) note que la pronation du deuxième métacarpien et la supination du cinquième métacarpien créent l'arche palmaire et les forces de flexion associées à la manipulation d'objet contre la paume (Lazenby, 1998a). D'ailleurs, les individus plus âgés auront tendance à avoir une forme circulaire moins prononcée des deuxièmes métarpes droit et gauche (Lazenby, 2002c). Les résultats de ce travail démontrent une constance dans la forme du deuxième métarpe. En d'autres termes, malgré une sollicitation élevée du deuxième métacarpien, les charges mécaniques ne semblent pas avoir modifié la forme de celui-ci durant l'ontogénie. Garn (1970) a observé que la forme en coupe à la mi-diaphyse du deuxième métarpe était circulaire tandis que Lazenby (1995) observa pour le même métarpe que le plan dorso-palmaire était régulièrement et significativement plus large que le plan médio-latéral pour les deux côtés, ne supportant pas l'hypothèse avancée par Garn. Les résultats de ce mémoire viennent à l'encontre des résultats de Garn (1970) et de Lazenby (1995), puisqu'aucun changement de forme fut démontré pour le MC2 les catégories d'âge plutôt large et la taille de l'échantillon en sont peut-être la cause (voir Figure 12 et 13).

Le troisième métarpe, lui, devient circulaire avec l'âge. La forme osseuse initiale est plutôt ovale, particulièrement marquée du côté gauche pour le groupe d'âge 1 (Figure 15), et devient plus arrondie (groupe d'âge 30). Néanmoins, pour les deux côtés le groupe d'âge 4 (entre 2 et 4 ans) semble être le moment charnière pour le changement de forme; c'est à cet âge qu'une différence significative entre la forme initiale et la forme finale commence à se distinguer. En passant d'une forme ovale à une forme circulaire, les forces de flexion dorso-palmaire provenant possiblement des simples mouvements de flexion des doigts, deviennent aussi importantes que les forces de flexion médio-latérale sur le métarpe (Roy et coll., 1994). Ces charges influenceront une déposition osseuse sur le plan antéropostérieur contribuant à l'arrondissement de l'os.

La mise en place inégale de la forme entre le côté gauche et le côté droit, pourrait indiquer des charges mécaniques distribuées différemment entre les deux côtés. Pour le MC1, un plan médio-latéral plus développé et un plan dorso-palmaire sous-développé est

présent pour le métacarpe gauche (Lazenby, 1995). En revanche, pour le MC3 droit, son développement serait représentée par un plan dorso-palmaire plus développé et un plan médio-latéral sous-développé pour le côté gauche. Quelques hypothèses peuvent être proposées pour expliquer la présence d'une mise en place de la forme plus rapide pour le côté gauche par rapport au côté droit pour le MC1 et MC3 :

- 1) L'échantillon composé des populations de Sainte-Marie de Beauce et de Pointe-aux-Trembles comporte plus de gauchers, et ceci s'expliquerait par une culture moins sélective de la main dominante droite.
- 2) La main non-dominante jouerait un rôle plus grand dans la manipulation, ce qui influencerait la distribution osseuse. Dans les populations de pionniers, les hommes étaient destinés aux travaux lourds impliquant les deux mains, ce qui produira des stress considérables sur la main non dominante. Chez les femmes, l'utilisation de la main gauche peut être été préférée pour des raisons de commodité et de confort pour les tâches domestiques telles que collecter et transporter l'eau (Lazenby, 1998a). Comme les enfants, apprennent en bas âge les tâches propres au sexe, par apprentissage et imitation des pairs. Les mêmes conséquences sur la distribution osseuse, plus éloigné de la forme ronde du côté gauche, sont envisageables lors du modelage osseux.
- 3) L'impact génétique et développemental aurait une plus forte influence sur le modelage de la forme osseuse. Principalement pour le MC3 dû à la mise en place préférentielle du côté gauche au sein du groupe d'âge 1 (moins de 1 an), période où la manipulation est minimale et donc ne peut expliquer le développement modulé par l'activité différentielle entre les deux côtés.

Dans les deux cas, un groupe d'âge se distingue concernant le moment charnière dans l'ontogénie de la forme osseuse. Pour le MC1, il s'agit du groupe d'âge 10 (5 à 10 ans),

tandis que pour le MC3, c'est le groupe d'âge 4 (2 à 4 ans) qui se distingue. Ces résultats semblent concorder avec les deux premières périodes de renforcement de la préférence manuelle proposées par Scharoun et Bryden (2014). La première période se présente entre 3 et 5 ans, bien que faible et inconsciente, correspondant au groupe d'âge 4 du MC3. Tandis qu'une deuxième période, entre 7 et 10 ans, correspond à une période de stabilisation et d'augmentation de la régularité dans l'utilisation d'une main, ce qui correspond au groupe d'âge 10 pour le MC1.

## CHAPITRE 6 : CONCLUSION

Ce travail analyse la réponse plastique de la mi-diaphyse des trois premiers métacarpes humains, en mesurant l'asymétrie directionnelle, ainsi que la forme osseuse dans une perspective ontogénique chez deux populations d'origine Euro-Canadienne. Suite aux résultats obtenus, il est difficile de suggérer un lien entre les réponses des trois premiers métacarpiens aux facteurs exogènes (ex. : les comportements) et endogènes face au développement de l'asymétrie.

Premièrement, il existe une asymétrie directionnelle croissante de la variable Theta se développant à travers plusieurs groupes d'âge (1 et 30 ; 4 et 20 ; 4 et 30 ; 10 et 30 ; 20 et 30), et plus particulièrement pour le MC3. Deuxièmement, il apparaît à la suite des observations intragroupes menées en fonction de l'âge que le groupe d'âge 1 (moins de 1 an) démontre d'une asymétrie directionnelle des plus marquée et ceci s'observe pour les trois premiers métacarpes pour les variables CSA, Imin, Imax, Imin/Imax, J et Theta. Troisièmement, un changement de forme significatif fut constaté pour le MC1, ainsi que pour le MC3. Le MC1 se développe à partir d'un os dont la forme est circulaire vers une forme de plus en plus ovale. Le processus inverse est observé pour le MC3 dont la forme osseuse initiale est plutôt ovale, se dirigeant vers une forme finale très arrondie. Enfin, il fut observé un développement inégal de forme pour le MC1 et pour le MC3 entre le côté gauche et le côté droit. Pour le MC1, le groupe d'âge 10 démontre le développement de la forme ovale plus rapidement pour le côté gauche. Pour le MC3 il s'agit du groupe d'âge 4, qui démontre d'un développement hâtif pour la forme arrondie du côté gauche. En conclusion, le groupe d'âge 10 (5 à 10 ans) et le groupe d'âge 4 (2 à 4 ans) semble correspondre au moment charnière dans l'ontogénie de la forme osseuse pour le MC1 et le MC3, venant attester des observations comportementales où une manipulation avec préférence d'une main se met en place.

Néanmoins, les hypothèses de la réponse ontogénique de ce travail ne sont pas toutes confirmées. En effet, alors qu'il était suggéré que l'asymétrie directionnelle serait

perceptible avec une préférence à droite et serait corrélée positivement avec le développement des charges biomécaniques avec l'âge, à l'inverse aucune asymétrie directionnelle significative pour les variables, CSA, Imin, Imax, Imax/Imin et J ne put être constatée pour les trois premiers métacarpes au sein de cet échantillon. De plus, l'hypothèse du stade d'apparition de l'asymétrie directionnelle entre 5 et 10 ans a également été infirmée. Au contraire, aucun âge précis ne put être déterminé comme étant le moment déterminant dans l'apparition et la mise en place de l'asymétrie directionnelle pour les trois premiers métacarpes. Le manque de nuance entre les catégories d'âge peut avoir empêché l'expression de certains résultats. Enfin, concernant la mise en place ontogénique de la forme, aucun changement et aucun stade d'apparition ne put être retenu pour le deuxième métacarpe.

La méthode de ce travail, basée sur l'analyse de l'asymétrie au sein d'un même élément osseux selon chaque individu, permet de contrôler les facteurs influençant le modelage osseux, tels le système hormonal, les réponses spécifiques aux différents ossements, et l'origine géographique ou bien l'âge (Mays, 2002). Afin de recueillir ces données, l'utilisation d'un tomodynamomètre fut utilisée, toutefois, cette méthode de collectes de données, bien que non invasive, demande plusieurs manipulations. En effet, lors du traitement des images, une certaine quantité du matériel osseux est exclue de l'analyse (lors de l'ajustement du « threshold » le pourtour des os peut être diminué) induisant possiblement un biais assez grand, particulièrement pour les os plus petits (généralement des catégories d'âge les plus jeunes). De plus, en l'absence de l'application de la correction de Bonferroni, certains résultats significatifs, parmi les nombreux faits, peuvent être de « faux positifs » (erreur de Type I).

Des recherches supplémentaires seraient nécessaires pour déterminer la variabilité des réponses ontogéniques selon l'os métacarpien. Il serait intéressant d'estimer la réponse aux charges au sein d'une population dont l'origine géographique diffère de celle de l'étude présente. Cela permettrait de mieux comprendre la réponse du modelage osseux face aux charges différentielles selon des contextes sociaux et

environnementaux distincts. Aussi, il serait intéressant de comprendre l'influence des processus génétiques et physiologiques sur l'asymétrie du modelage osseux (Mays 2002).

Par ailleurs, l'asymétrie directionnelle des trois premiers métacarpes ne fut pas observée dans cette étude, contrairement à ce qui fut démontré par plusieurs chercheurs (Plato et Norris, 1980; Roy et coll., 1994; Lazenby, 2002c). L'augmentation de l'échantillon de recherche, et ce pour chaque groupe d'âge, mais principalement entre 10 et 15 ans, car non représenté dans le cadre de cette recherche, est primordiale. Or, cela permettrait une meilleure expression de l'asymétrie, et ce à chaque stade développemental, pour ainsi déterminer dans quelle mesure ces variables sont liées à l'environnement mécanique.

Enfin, les résultats de ce projet ne viennent pas appuyer les hypothèses sur la réponse ontogénique de l'asymétrie directionnelle des os par rapport aux charges qui se développent à travers l'âge des individus. L'utilisation de l'asymétrie n'a pas permis de mettre en évidence une préférence gauche ou droite au sein des trois premiers métacarpes. Ceci dit, les résultats tendent à démontrer que la main a la capacité plastique de s'adapter à son environnement mécanique. La mise en place d'une forme osseuse distincte entre le MC1 et le MC3 reflète leur plasticité à la suite de leur engagement et leur fonction lors de manipulation durant la formation osseuse. De plus, l'étude de la forme peut être pertinente pour l'étude des stades développementaux, puisque cette étude a permis de discerner un âge charnière du modelage final de la forme osseuse pour chaque métacarpe qui varie entre 2 et 10 ans. Étant donnée, les catégories d'âge très larges et approximatives qui entraîne parfois peu de nuances dans l'interprétations des données; il aurait été intéressant d'étudier les variables biomécaniques en lien avec des variables métriques (longueur ou diamètre diaphyse ou autre), car ces dernières auraient pu remplacer les catégories d'âge peu nuancées; l'approche statistique dans ce cas-là aurait été différente (régression), mais peut-être plus informative.

Cette recherche est une étude préliminaire sur l'adaptation plastique des métacarpiens aux effets de l'environnement externe pendant la croissance. Comme il vient d'être mentionné, des recherches subséquentes sont nécessaires pour corroborer ou réfuter les résultats obtenus dans ce mémoire. Bien que modestes, ces résultats en lien avec la plasticité osseuse plus précisément de développement de l'asymétrie et de la forme osseuse, avec un contexte historique ouvrent tout de même une fenêtre concernant les activités habituelles d'une population rurale du Québec.



## BIBLIOGRAPHIE

- Albert A. M. et Greene D. L. (1999). Bilateral Asymmetry in Skeletal Growth and Maturation as an Indicator of Environmental Stress. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 110, p. 341–349.
- Annett M. (2002). *Handedness and brain asymmetry: The right shift theory*. New York: Taylor and Francis.
- Auerbach B. M. et Ruff C. B. (2006). Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans. *Journal of Human Evolution*, vol. 50, p. 203-218.
- Auerbach B.M. et 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.
- Arnett T. R. et Henderson B. (1998). *Methods in bone biology*. London: Springer. 314p.
- Baer M. J. et Durkatz J. (1957). Bilateral Asymmetry in Skeletal Maturation of the Hand and Wrist: a Roentgenographic Analysis, p. 181–196.
- Baldwin J. M. (1890). Origin of right or left handedness. *Science*, vol. 16, p. 247-248.
- Blackburn A. (2011). Bilateral Asymmetry of the Humerus During Growth and Development. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 145, p. 639–646.
- Blackburn A. et Knüsel C. J. (2006). Hand Dominance and Bilateral Asymmetry of the Epicondylar Breadth of the Humerus: A Test in a Living Sample. *Current Anthropology*, vol. 47, no. 2, p. 377–382.
- Boyer D. M., Yapuncich G. S., Chester S. G. B., Bloch J. I. et Godinot M. (2013). Hands of Early Primates. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 57, p. 33–78.
- Brand R. A. (2010). Biographical Sketch: Julius Wolff, 1836-1902. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, vol. 468, p. 1047-1049.
- Buikstra J. E., Ubelaker D. H. Haas J. et Aftandiliam D. (1994). Standards for data collection from skeletal remains Proceedings of a Seminar at The Field Museum of Natural History Coll. Arkansas Archaeological Survey Research Series, no. 44, 272p.
- Butterworth G. et Hopkins B. (1993). Origins of Handedness in Human Infants. *Developmental Medicine and Child Neurology*, vol. 35, no.2, p. 177-184.

- Butterworth G. et Itakura S. (1998). Development of precision grips in chimpanzees. *Development Science*, vol.1, no.1, p. 39-43.
- Carter D. R., Orr T. E., Fyhrie D. P. et Schurman D. J. (1987). Influences of mechanical stress on prenatal and postnatal skeletal development. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, vol. 219, p. 237-250.
- Coakley M. E. et Brown N. A. (1986). Tissue oxygen as a determinant of axially asymmetric teratologic responses: Misonidazole as a marker for hypoxic cells. *Human Toxicology*, no. 5, p. 404.
- Corballis M. C. (1989). Laterality and Human Evolution. *Psychological Review*, vol. 96, no. 3, p. 492-505.
- Čuk T., Leben-Seljak P. et Štefančič, M. (2001). Lateral asymmetry of human long bones. *Variability and Evolution*, vol. 9, p. 19-32.
- Currey J. D. (2002). *Bones: structure and mechanics*. Princeton, NJ: Princeton University Press. 436p.
- Combette P. et Ernoult I. (2005). *Physique des polymères Tome II : propriété mécanique*. Montréal : Presses Internationales Polytechnique. 276p.
- Corbetta D., Williams J. et Snapp-Childs W. (2006). Plasticity in the development of handedness: evidence from normal development and early asymmetric brain injury. *Developmental Psychobiology*. vol. 48, no. 6, p. 460-471.
- Doube M., Kłosowski M. M., Arganda-Carreras I., Cordelières F., Dougherty R. P., Jackson J., Schmid B., Hutchinson J. R., Shefelbine S. J. (2010) BoneJ: free and extensible bone image analysis in ImageJ. *Bone* vol. 47, p.1076-9.  
doi: 10.1016/j.bone.2010.08.023
- Dechêne Louise. (1974). *Habitants et Marchands de Montréal au XVIIe siècle*. Paris et Montréal : Plon, Coll. Civilisations et mentalités, 58p.
- Drapeau M. S. M. (2012). Forelimb adaptation in *Australopithecus afarensis*. In: *African Genesis Perspective on hominin evolution*. Reynolds S. C., Gallagher A., Eds, p. 223-247.
- Dreizen S., Snodgrass R. M., Webb-Peploe H., Parker G. S. et Spies T. D. (1957). Bilateral Symmetry of Skeletal Maturation in the Human Hand and Wrist. *A.M.A. American Journal of Diseases of Children*, Vol. 93, no.2, p. 122-127.

- Ethnoscop Inc. (2015a). Interventions archéologiques dans le cadre des travaux de réfraction de la Maison du citoyen à Pointe-aux-Trembles, Bji-17. Vol. 1: Rapport, Vol. 2 : Dossier Technique, 57p.
- Ethnoscop Inc. (2015b). Interventions archéologiques dans le cadre du projet de construction de la Maison du citoyen à Pointe-aux-Trembles, 2014, Bji-17. Rapport préliminaire, 23p.
- Ethnoscop Inc. (2006). Site du premier cimetière de Sainte-Marie, CcEs-1 : Inventaire et fouilles archéologiques 2003-2004., 190p.
- Feik S. A., Thomas C. D. L. et Clement J. G. (1996). Age Trends in Remodeling of the Femoral Midshaft Differ Between the Sexes. *Journal of Orthopaedic Research*, vol. 14, p. 590–597.
- Gesell A. et Ames L. B. (1947). The Development of Handedness. *The Pedagogical Seminary and Journal of Genetic Psychology*, vol. 70 no. 2, p. 155–175.
- Frost H. M. (1963). Bone remodeling dynamics. Springfield: Thomas, C.C. 175p.
- Frost H. M. (2002). From Wolff's law to the Utah paradigm: insights about bone physiology and its clinical applications. *Anatomical record*, vol. 262, p. 398–419.
- Fox K. M., Kimura S., Powell-Threets K., et Plato C. C. (1995). Radial and ulnar cortical thickness of the second metacarpal. *Journal of Bone and Mineral Research*. Vol. 10, p. 1930–1934.
- Garn S. M. (1970). *The Earlier Gain and the Later Loss of Cortical Bone*. Springfield, IL: Charles C. Thomas. 146p.
- Garn S. M., Mayor G. H. et Shaw H. A. (1976). Paradoxical Bilateral Asymmetry in Bone Size and Bone Mass in the Hand. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 45, p. 209–210.
- Harris L. J. (1982). Laterality of function in the infant: historical and contemporary trends in theory and research. In Young, G., Segalowitz, S. J. , Corter, C., Trehub, S. (Eds.) *Manual Specialisation and the Developing Brain*. New York: Academic Press. p. 171-239.
- Hepper P. G., McCartney G. R. et Shannon E. A. (1998). Lateralised behaviour in first trimester human fetuses. *Neuropsychologia*, vol. 36, p. 531–534.
- Jones-Engel L. E. et Bard K. A. (1996). Precision Grips in Young Chimpanzees. *American Journal of Primatology*, vol. 39, p. 1–15.

- Kanchan T., Kumar T. S. M., Kumar G. P. et Yoganarasimha K. (2008). Short Report Skeletal asymmetry. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, vol. 15, p. 177–179.
- Kimura K. (1976). Growth of the second metacarpal according to chronological age and skeletal maturation. *The Anatomical Record*, vol. 184, p. 147-158.
- Krishan K., Kanchan T. et DiMaggio J. A. (2010). A study of limb asymmetry and its effect on estimation of stature in forensic case work. *Forensic Science International*, vol. 200, p. 181-185.
- Kujanová M., Bigoni J. M. et Velemínský J. (2008). Limb Bones Asymmetry and Stress in Medieval and Recent Populations of Central Europe. *International Journal of Osteoarchaeology*, vol. 18, p. 476–491.
- Laurencelle Louise. (2001). *Hasard nombres aléatoires et méthode Monte-Carlos*. Québec : Presse de l'Université du Québec, 274p.
- Lazenby R. A., Cooper D. M. L., Angus S. et Hallgrímsson B. (2008). Articular constraint, handedness, and directional asymmetry in the human second metacarpal. *Journal of Human Evolution*, vol. 54, p. 875-885.
- Lazenby R. A. (2002a). Population Variation in Second Metacarpal Sexual Size Dimorphism. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 118, p. 378–384.
- Lazenby R. A. (2002b). Circumferential Variation in Human Second Metacarpal Cortical Thickness: Sex, Age, and Mechanical Factors. *The Anatomical Record*, vol. 267, p. 154–158.
- Lazenby R. A. (2002c). Skeletal Biology, Functional Asymmetry and the Origins of “Handedness”. *Journal of Theoretical Biology*, vol. 218, p. 129–138.
- Lazenby R. A. (1998a). Second Metacarpal Midshaft Geometry in an Historic Cemetery Sample. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 106, p. 157–167.
- Lazenby R. A. (1998b). Second metacarpal cross-sectional geometry: rehabilitating a circular argument. *American Journal of Human Biology*, vol. 10, p. 747–756.
- Lazenby, R. A. (1995). Non-circular geometry and radiogrammetry of the second metacarpal. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 97, p. 323–327.
- Lemieux Denise. (1985). *Les petits innocents: L'enfance en Nouvelle-France*. Québec : Institut québécois de recherche sur la culture, 205p.

- Lesné M. et Peycelon. (1934). À quel âge un enfant cesse-t-il d'être ambidextre pour devenir droitier? *Bulletins de la Société de pédiatrie de Paris*, Paris, vol. 32, p. 436-439.
- Lesnik J. J., Sanz C. M. et Morgan D. B. (2015). The Interdigital Brace and Other Grips for Termite Nest Perforation by Chimpanzees of the Goulougo Triangle, Republic of Congo. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 157, p. 252-259.
- Lieberman D. E. (1997). Making Behavioral and Phylogenetic Inferences From Hominid Fossils: Considering the Developmental Influence of Mechanical Forces. *Annual Review of Anthropology*, vol. 26, p. 185-210.
- Macé B. (2008). *Histologie : Bases fondamentales* : Broché. 368p.
- Marieb E. N. et Hoehn K. (2010) *Anatomie et Physiologie Humaine*. 4e édition. Québec : Erpi. 1293p.
- Martin B. R., Burr D. B. et Sharkey N. A. (1998). *Skeletal tissue mechanics*. New York: Springer. 392p.
- Marzke M. W. (1997). Precision Grips, Hand Morphology, and Tools. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 102, p. 91-110.
- Mays S. A. (2002). Asymmetry in Metacarpal Cortical Bone in a Collection of British Post-Mediaeval Human Skeletons. *Journal of Archaeological Science*, vol. 29, p. 435-441.
- Meindl R. S. et Lovejoy C. O. (1985). Ectocranial suture closure: A revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 68, p. 57-66.
- Michel G. F., Sheu C.-F. et Brumley M. R. (2002). Evidence of a Right-Shift Factor Affecting Infant Hand-Use Preferences From 7 to 11 Months of Age as Revealed by Latent Class Analysis. *Developmental Psychobiology* Vol. 40, no. 1, p. 1-13.
- Michel G. F. (1981). Right handedness: A consequence of infant supine head orientation preference? *Science*, vol. 212, p. 685-687.
- Pearson O. M. et Lieberman D. E. (2004). The Aging of Wolff's "Law": Ontogeny and Responses to Mechanical Loading in Cortical Bone. *Yearbook of Physical Anthropology*, vol. 47, p. 63-99.
- Perelle I. B. et Ehrman L. (1994). An International Study of Human Handedness: The Data. *Behavior Genetics*, vol. 24, no. 3, p. 217-227.

- Petsko G. A. et Ringe D. (2009). Structure et Fonction des protéines. Bruxelles : Édition de Boeck Université, 175p.
- Plato C. C., Purifoy F. E. (1982). Age, sex and bilateral variability in cortical bone loss and measurements of the second metacarpal. *Growth*, vol. 46, p. 100–112.
- Plato C. C., Wood J. L. et Norris A. H. (1980). Bilateral Asymmetry in Bone Measurements of the Hand and Lateral Hand Dominance. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 52, p. 27- 31.
- Plato C. C. et Norris A. H. (1980). Bone Measurements of the Second Metacarpal and Grip Strength. *Human Biology*, vol. 52, no. 1, p. 131-149.
- Plato C. C., Wood J. et Norris A. H. (1978). Cross-Sectional and Longitudinal changes in Bone Loss. *Book of Abstracts. Presented at the 31st Annual Scientific Meeting of the Gerontological Society, Dallas, TX. (Manuscript in Dress)*. 112p.
- Platzer W. (2007). Atlas de poche d'anatomie. Tome 1. Appareil locomoteur. 3e Édition. Paris : Flammarion Médecine-Sciences. 462p.
- Provost Honorius (1970). Sainte-Marie de la Nouvelle-Beauce : Histoire civile. Québec: Édition de la Nouvelle-Beauce, Séminaire de Québec, 807p.
- Provost Honorius. (1967). Sainte-Marie de la Nouvelle-Beauce : Histoire Religieuse. Québec : Société historique de la Chaudière, 625p.
- Rey G. (2015). Régénération osseuse Lasers assistée : Propositions pour un protocole reproductible. *Journal LS*, vol. 68, p. 6.
- Rouvière H. et Delmas A. (2002). Anatomie humaine, descriptive, topographique et fonctionnelle. Paris : Masson. 736p.
- Roy T. A., Ruff C. B. et Plato C. C. (1994). Hand Dominance and Bilateral Asymmetry in the Structure of the Second Metacarpal. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 94, p. 203-211.
- Ruff C. B. (2008). Biomechanical Analyse of Archaeological Human Skeletons. *Biological Anthropology of the Human Skeleton, Second Edition*, p. 183-206.
- Ruff C. B., Walker A., Trinkaus E. (1994). Postcranial robusticity in Homo. III. Ontogeny. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 93, p. 35–54.

- Ruff C. B., Trinkaus E. et Walker A. (1993) Postcranial robusticity in *Homo*. I: Temporal trends and mechanical interpretation. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 93, p. 21–53.
- Ruff C. B. et Hayes W. C. (1988). Sex Differences in Age-Related Remodeling of the Femur and Tibia. *Journal of Orthopaedic Research*, vol. 6, p. 886–896.
- Ruff C. B. et Jones H. H. (1981). Bilateral asymmetry in cortical bone of the humerus and tibia-sex and age factors. *Human Biology*, vol. 53, no. 1, p. 69–86.
- Santos F. (2014). Évaluer les erreurs de mesure en anthropométrie. Université de Bordeaux, 13p.
- Scharoun S. M. et Bryden P. J. (2014). Hand preference, performance abilities, and hand selection in children. *Frontiers in Psychology*, vol. 5, article 82, p. 1-15.
- Schultz A. H. (1937). Proportions, Variability and Asymmetries of the Long Bones of the Limbs and the Clavicles in Man and Apes. *Human Biology*, vol. 9 no. 3, p. 281–328.
- Shawa C. N. (2011). Is “hand preference” coded in the hominin skeleton? An in-vivo study of bilateral morphological variation. *Journal of Human Evolution*, vol. 61, p. 480- 487.
- Steele J. et Uomini N. (2005). Humans, tools and handedness. *Stone Knapping: The Necessary Conditions for a Uniquely Hominin Behaviour* (edited by Valentine Roux and Blandine Bril), Cambridge: McDonald Institute for Archaeological Research, p. 217-239.
- Steele J. (2000). Handedness in past human populations : skeletal markers. *Laterality*, vol. 5, no. 3, p. 193-220.
- Steele J. et 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.
- Suchey J. M. et Brooks S. (1990). Skeletal age determination based on the pubis: A comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Human Evolution*, vol. 5, no. 3, p. 227-238.
- Trinkaus E. (1978). Bilateral Asymmetry of Human Skeletal Non-Metric Traits. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 49, p. 315-318.

- Trinkaus E., Churchill S. E. et Ruff C. B. (1994). Postcranial Robusticity in Homo. II: Humeral Bilateral Asymmetry and Bone Plasticity. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 93, p. 1–34.
- Ubelaker D. H. (1989). *Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation*. 2e Édition. Washington, DC: Taraxacum, 172p.
- Vauclair J. et Imbault J. (2009). Relationship between manual preferences for object manipulation and pointing gestures in infants and toddlers. *Developmental Science*, vol. 12, no. 6, p. 1060–1069.
- Weiss E. (2003). Effects of Rowing on Humeral Strength. *American Journal of Physical Anthropology*, vol. 121, p. 293–302.
- Wescott D. J. et Cunningham D. L. (2006). Temporal changes in Arikara humeral and femoral cross-sectional geometry associated with horticultural intensification. *Journal of Archaeological Science*, vol. 33, p. 1022-1036.
- White T. D. et Folkens P. A. (2005). Amsterdam; Boston: Elsevier Academic Press. 464p.
- Young, R. (1957). Postnatal growth of the parietal bones in white males. *American Journal of Anthropology*, vol. 15, p. 367-386.