

Université de Montréal

La robustesse des membres des populations passées et récentes en Afrique centrale : des chasseurs-cueilleurs aux agriculteurs

Par KLAGBA Malwine-Octavia

Département d'anthropologie

Faculté des arts et sciences

Mémoire présentée en vue de l'obtention du grade de Maitrise
en anthropologie

Août 2021

© Klagba, 2021

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

La robustesse des membres des populations passées et récentes en Afrique centrale : des
chasseurs-cueilleurs aux agriculteurs

Présenté par

KLAGBA Malwine-Octavia

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Président rapporteur : Christian Gates St-Pierre

Directeur de recherche : Michelle Drapeau

Co-directeur de recherche : Isabelle Ribot

Membre du jury : Julien Riel-Salvatore

Résumé

À l'holocène, le développement de l'agriculture par les populations humaines a modifié la morphologie du squelette humain. Dans ce cadre, plusieurs recherches se sont intéressées à la biomécanique des populations passées et modernes. Elles supposent qu'une activité physique répétée affecte la structure de l'os. Cette réponse osseuse est analysée par les propriétés géométriques de l'os qui permettent de reconstruire le comportement passé et présent des individus. La distribution osseuse en coupe a donc été étudiée sur les membres supérieurs et inférieurs de populations centrafricaines (du Cameroun et de la République Démocratique du Congo). La première hypothèse de ce mémoire est la suivante, les agriculteurs centrafricains, au mode de vie sédentaire, auraient les membres supérieurs plus robustes, tandis que les chasseurs-cueilleurs, plus mobiles, auraient les membres inférieurs plus robustes. La deuxième hypothèse suppose que les populations d'un milieu/terrain plus accidenté auraient les membres, supérieurs et/ou inférieurs, plus robustes. Nos résultats indiquent plutôt que les chasseurs-cueilleurs et les agriculteurs ont la même robustesse générale, bien que les peuples non sédentarisés soient plus robustes à la mi-diaphyse des radius droits. Contrairement à ce qui était attendu, les fémurs sont plus résistants (CSA) chez les agriculteurs, quand ils sont standardisés par la masse corporelle. En revanche, la moitié supérieure des tibias semblent être plus robuste chez les chasseurs-cueilleurs, quand les propriétés sont standardisées par la longueur de l'os. Les radius et les ulnas des chasseurs-cueilleurs vivant en forêt et en montagne ont la même robustesse. Enfin, seule la section distale des fibulas est plus résistante (CSA) chez les chasseurs-cueilleurs de la montagne que chez les chasseurs-cueilleurs de la forêt. En conclusion, ce mémoire ne nous permet pas d'affirmer que la transition vers l'agriculture s'accompagne d'une réduction de la mobilité et de la robustesse en Afrique centrale. En revanche, il montre que ces individus sont quand même influencés par leur stratégie de subsistance. Un plus grand échantillon est nécessaire pour mieux documenter la transition agricole et l'influence du milieu sur la structure osseuse en Afrique centrale.

Mots-clés : Propriétés géométriques, Populations centrafricaines, Agriculteurs, Sédentaire, Robustesse, Membres supérieurs et inférieurs, Chasseurs-cueilleurs, Mobile, Milieu, Terrain

Abstract

The emergence of farming in the Holocene had major impacts on human populations. Many biomechanical studies have explored past and recent populations and have suggested that physical activity affects bone structure. Cross-sectional geometric properties of bones are measured to reconstruct past and recent human behavior. The present study analyses bone cross-sectional geometry of upper and lower limbs long bones of Central African populations (from Cameroon and the Democratic Republic of Congo). This study is based on the premise that agriculturalists, a sedentary group using their upper limbs for farming activities, have more robust upper limbs, while hunter-gatherers, that have an extremely mobile lifestyle, have more robust lower limbs. In addition, it is assumed that populations in more rugged environments/terrains would have more robust upper and/or lower limbs. Against expectation, the upper limbs of non-sedentary and sedentary populations have the same robusticity, although the right radius midshafts of hunter-gatherers are more robust. The femora are more robust in agriculturalists when the significant properties are normalized by body mass. In contrast, the upper part of the tibiae is more robust in hunter-gatherers when the properties are standardised by bone length. Against expectation, it was found that the upper limbs (radii and ulnae) of hunter-gatherers living in the lowland forests and in the mountains have the same robustness. Meanwhile, for the lower limbs, the fibula is more robust in people living in the mountains than those in the forest. In conclusion, these findings do not allow us to assert that the transition to agriculture is accompanied by a reduction in mobility and robusticity in the lower limbs or an increase in robusticity of the upper limb. Nonetheless, this study suggests that individuals are influenced by their economic strategy. However, a larger sample will be needed to better evaluate the role of the transition to agriculture on bone structure in Central Africa.

Keywords: Cross-sectional geometric properties, Lower and Upper limbs, Central African populations, Agriculturists, Sedentary, Robustness, Hunters-gatherers, Mobile, Environments, Terrain

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
i	
Table des matières.....	iii
Liste des tableaux.....	des iix
Liste des figures.....	xii
Liste des abréviations.....	xvi
Glossaire.....	xvii
Remerciements.....	Er reur ! Signet non défini.
Introduction.....	1
Chapitre 1- L'Afrique centrale, une région clé pour l'histoire du peuplement.....	4
1.1 Le paysage centrafricain.....	6
1.1.1 bouleversements climatiques et environnementaux.....	6
1.1.2 Les biomes.....	7
1.2 Gènes et langues.....	8
1.2.1 Les données linguistiques.....	9
1.2.2 Interactions génétiques entre les chasseurs-cueilleurs et les agriculteurs.....	10
1.3 Diversité des modes de vie et les sites archéologiques en Afrique centrale.....	12

1.3.1 Les chasseurs-cueilleurs.....	13
1.3.1.1 Ishango, République Démocratique du Congo.....	13
1.3.1.2 Shum Laka, Cameroun.....	17
1.3.1.3 Les « Pygmées » ou Mbuti, République Démocratique du Congo.....	18
1.3.2 Les agriculteurs.....	22
1.3.2.1 L’agriculture centrafricaine.....	23
1.3.2.2 La dépression dans la vallée de l’Upemba, République Démocratique du Congo.....	23
Sanga et deux autres sites.....	25
Le royaume Luba.....	26
1.3.2.3 Les Azande, République Démocratique du Congo.....	31
Chapitre 2- La biomécanique : concepts, outils et apports	34
2.1 Anatomie et typologie de l’os.....	34
2.1.1 La structure de l’os long	34
2.2 La biomécanique osseuse.....	36
2.2.1 Théorie de la biomécanique.....	36
2.2.1.1 Adaptation fonctionnelle de l’os.....	36
2.2.1.2 Mécanismes.....	37
2.3 La robustesse.....	39
2.3.1 Concept et définition.....	39
2.3.2 Les facteurs affectant la rigidité osseuse.....	40

2.3.2.1 La lignée humaine: le temps.....	40
2.3.2.2 L'effet de l'âge	40
2.3.2.3 Dimorphisme sexuel	41
2.3.3 Études de la robustesse.....	41
2.3.3.1 La stratégie de subsistance.....	41
2.3.3.2 L'environnement: le terrain.....	44
Chapitre 3- Matériels et Méthodes.....	47
3.1. Matériels.....	47
3.1.1 Les collections à l'étude.....	47
3.1.2. Échantillonnage.....	48
3.1.2.1 Ishango.....	49
3.1.2.2 Shum Laka.....	50
3.1.2.3 Les Mbuti.....	51
3.1.2.4 La dépression de l'Upemba.....	52
3.1.2.5 Les Azande.....	53
3.2. Méthodes.....	53
3.2.1. Détermination du sexe et de l'âge.....	53
3.2.1.1 Observations visuelles.....	53
3.2.1.2 Mesures métriques.....	61
3.2.2. Mesures des membres complets et fragmentaires.....	63

3.2.2.1 prises de mesure des os longs.....	63
3.2.2.2. Fragmentation : estimation de la longueur.....	63
3.2.3 Ct scan.....	68
3.2.3.1 Utilisation du tomodensimètre médical.....	68
3.2.4 Analyses des Ct-scans.....	69
3.2.4.1 Les propriétés géométriques de l'os.....	72
3.2.5. Analyses statistiques.....	74
Chapitre 4- Résultats.....	76
4.1 La stratégie de subsistance.....	76
4.1.1 L'humérus.....	76
4.1.2 Le radius.....	79
4.1.3 L'ulna.....	82
4.1.4 Le fémur.....	83
4.1.5 Le tibia.....	86
4.1.6 La fibula.....	89
4.2 L'environnement.....	89
4.2.1 Le radius.....	90
4.2.2 L'ulna.....	91
4.2.3 La fibula.....	91
Chapitre 5- Discussion	93

5.1 La stratégie de subsistance.....	93
5.1.1 Les membres supérieurs.....	94
Tendance générale : pas de différence.....	95
Résultats inattendus : des chasseurs-cueilleurs plus robustes.....	97
Résultats 'isolés': faux significatifs.....	98
5.1.2 Les membres inférieurs.....	98
Tendance générale : pas de différence.....	99
Résultats inattendus : des agriculteurs plus robustes.....	101
Résultats attendus et pourtant.....	102
Résultats 'isolés' : faux significatifs.....	102
5.2 L'environnement.....	103
5.2.1 Les membres supérieurs.....	103
Tendance générale : pas de différence.....	104
Données non incluses.....	106
5.2.2 Les membres inférieurs.....	106
Tendance générale: pas de différence.....	106
Une seule variable significative : l'aire corticale.....	108
Résultat 'isolé' : faux significatif.....	108
5.3 Limites de la recherche.....	108
La stratégie de subsistance.....	108

L'environnement.....	109
Conclusion	110
Bibliographie	113
Annexe 1. <u>Collection à l'étude.....</u>	<u>i</u>
Annexe 2. <u>Matériels et Méthodes.....</u>	<u>vi</u>
Annexe 3. <u>Résultats.....</u>	<u>xii</u>
Annexe 4. <u>Discussion.....</u>	<u>xvi</u>

Liste des tableaux

Tableau 3.1 Listes des membres supérieurs et inférieurs des chasseurs-cueilleurs et agriculteurs à l'étude Gauche (G), Tombe (T).....	48
Tableau 3.2 Légende des mesures utilisées pour estimer la longueur des os fragmentaires.....	65
Tableau 3.3 Propriétés géométriques des zones transversales des os long à l'étude (Cross-sectional geometry, CSG).....	73
Tableau 3.4 Équation pour standardiser les os longs avec la masse corporelle et la taille corporelle des individus.....	73
Tableau 3.5 Les facteurs à l'étude selon les groupes analysés.....	75
Tableau 4.1 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des humérus standardisés par la longueur selon la stratégie de subsistance (les valeurs significatives sont en gras).....	77
Tableau 4.2 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des radius standardisés par la longueur selon la stratégie de subsistance (les valeurs significatives sont en gras).....	79
Tableau 4.3 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des ulnas standardisés par la longueur selon la stratégie de subsistance (la valeur significative est en gras et la valeur presque significative a un astérisque)	82
Tableau 4.4 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des fémurs standardisés par la masse corporelle selon la stratégie de subsistance (les valeurs significatives sont en gras et les valeurs presque significatives ont un astérisque)	84
Tableau 4.5 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des tibias standardisés par la longueur selon la stratégie de subsistance (les valeurs significatives sont en gras)	87
Tableau 4.6 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des fibulas standardisées par la masse selon la stratégie de subsistance (les valeurs presque significatives ont un astérisque)	89

Tableau 4.7 Les valeurs de p du test One-way PERMANOVA de la moitié supérieure des radius droits, standardisés par la longueur, des chasseurs-cueilleurs vivant en forêt et en montagne.....	90
Tableau 4.8 Les valeurs de p du test One-way PERMANOVA des ulnas standardisés par la longueur des chasseurs-cueilleurs vivants en forêt et en montagne (la valeur presque significative a un astérisque).....	91
Tableau 4.9 Les valeurs de p du test One-way PERMANOVA des fibulas droites standardisées par la longueur des chasseurs-cueilleurs en forêt et en montagne	91
Tableau 5.1 Les propriétés significativement différentes (ou presque significative) selon le test de Mann-Whitney entre des différentes sections des os longs des chasseurs-cueilleurs (C-C) et des agriculteurs (A).....	94
Tableau 5.2 Les propriétés significatives du test One-way PERMANOVA des os longs standardisés par la longueur selon les environnements (forêt (F) et montagne (M)) des chasseurs-cueilleurs(C-C)	103
Tableau A1.1 Collection à l'étude.....	i
Tableau A1.2. Séquence archéologique dans la vallée d'Upemba à l'âge de fer.....	iv
Tableau A2.1 Méthode visuelle et métrique utilisée pour déterminer le sexe des individus à l'étude.....	vi
Tableau A2.2 Degrés d'expression des traits pour l'estimation du sexe à partir de la morphologie crânienne.....	vii
Tableau A2.3 Estimation du sexe à partir des traits morphologiques de l'os coxal et du sacrum.....	vii
Tableau A2.4 Méthode visuelle utilisée pour déterminer l'âge des individus à l'étude.....	viii
Tableau A2.5 Estimation de l'âge à partir de l'usure dentaire, du corps mandibulaire, des corps vertébraux; et des traits morphologiques de l'os coxal.....	ix

Tableau A2.6. DSP2. Diagnose sexuelle probabiliste. Mesure de l'os coxal pour déterminer le sexe	ix
Tableau A3.1 Nombres d'individus par stratégies de subsistances et de l'environnement selon le sexe et les catégories d'âge.....	xii
Tableau A3.2 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les humérus gauches et droits selon la stratégie de subsistance (standardisés par la longueur).....	xii
Tableau A3.3 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les radius gauches et droits selon les facteurs à l'étude (standardisés par la longueur).....	xii
Tableau A3.4 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les ulna gauches et droits selon les facteurs à l'étude (standardisés par la longueur).....	xiii
Tableau A3.5 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les fémurs droits et gauches selon la stratégie de subsistance (standardisés par la longueur et la masse ¹).....	xiii
Tableau A3.6 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les tibias droits et gauches selon la stratégie de subsistance (standardisés par la longueur et la masse ¹).....	xiii
Tableau A3.7 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les fibulas droits et gauches selon les facteurs à l'étude (standardisées par la longueur et la masse ¹).....	xiv
Tableau A3.8 Les valeurs de p du test de Mann-Whitney standardisées par la longueur des fémurs de la stratégie de subsistance (la valeur significative est en gras).....	xiv
Tableau A3.9 Les valeurs de p du test Mann-Whitney standardisée par la masse corporelle des tibias de la stratégie de subsistance (la valeur significative est en gras).....	xv
Tableau A3.10 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des fibulas droites standardisées par la masse corporelle selon la stratégie de subsistance (les valeurs presque significatives ont un astérisque).....	xv
Tableau A4.1 Moyennes et p-value des propriétés osseuses des populations humaines.....	xvi

Liste des figures

Figure 1.1 La carte du continent africain.....	5
Figure 1.2 Biomes du continent africain.....	7
Figure 1.3 L'expansion bantoue.....	10
Figure 1.4 Séparation entre les chasseurs-cueilleurs et les agriculteurs.....	11
Figure 1.5 Localisation du site d'Ishango au nord-est de la R.D.C.....	14
Figure 1.6 Os d'un squelette humain complet.....	15
Figure 1.7 Les 4 faces de l'os d'Ishango.....	15
Figure 1.8 Harpons extraits du Lac Edouard, au bord duquel se trouve le site d'Ishango.....	17
Figure 1.9 Langue d'Afrique centrale, incluant les Pygmées.....	20
Figure 1.10 Localisation des groupes Pygmées en Afrique centrale.....	21
Figure 1.11 Dépression de l'Upemba en R.D.C., avec les six nécropoles fouillées.....	24
Figure 1.12 Relevé d'une tombe du Kisalien ancien, 8 ^{ème} -9 ^{ème} siècles.....	28
Figure 1.13 Cauris.....	29
Figure 1.14 Croisettes, croix de cuivre.....	30
Figure 1.15 Lieu de vie des Azande, en région Uélé, le Bas-Uélé et le Haut-Uélé, au nord-est de la R.D.C.....	31
Figure 2.1 Structure de l'os long.....	35
Figure 2.2 Les forces appliquées sur l'os.....	38
Figure 2.3 Modèle simple de l'adaptation fonctionnelle de l'os.....	39
Figure 3.1 Les populations centrafricaine étudiées.....	47

Figure 3.2 Membre de l'individu D de l'unité 3 à Shum Laka.....	50
Figure 3.3 Les deux aires d'exhumation des quatre BaMbuti, au nord-est de la R.D.C. à proximité de la réserve de faune à Okapis (à gauche des sites sur la carte).....	51
Figure 3.4 Estimation du sexe à l'aide de la morphologie crânienne.....	54
Figure 3.5 Descriptions des traits crâniens pour le sexe.....	55
Figure 3.6 Morphologie de la ceinture pelvienne (os coxal et sacrum) déterminant le sexe.....	56
Figure 3.7 Photo du dimorphisme sexuel des os pelviens montrant la taille et la forme.....	56
Figure 3.8 Méthode d'estimation de l'âge à partir de l'usure dentaire en vue occlusale	57
Figure 3.9 Méthode d'estimation de l'âge à partir de l'usure des corps vertébraux.....	58
Figure 3.10 Méthode d'estimation de l'âge à partir de la surface auriculaire de l'os coxal.....	59
Figure 3.11 Méthode d'estimation de l'âge à partir de la symphyse pubienne de l'os coxal....	60
Figure 3.12 Capture d'écran des résultats du DSP2 appliqué aux os coxaux droit et gauche des Azande (35 et 39) et Pygmées (207 et 212).	62
Figure 3.13 Mesure prise et estimée afin de produire une estimation de la longueur d'un humérus droit (vue antérieur).....	64
Figure 3.14 Mesure prise et estimée afin de produire une estimation de la longueur d'un fémur droit (vue antérieur).....	64
Figure 3.15 Descriptions de l'os huméral.....	66
Figure 3.16 Humérus, vue des extrémités au niveau supérieur et inférieur de l'os.....	67
Figure 3.17 Descriptions de l'os fémoral (vue postérieure).....	67
Figure 3.18 Extrémité distale du fémur (vue postérieure).....	68
Figure 3.19 Capture du logiciel siemens lors du topogram d'un radius gauche (Routine).....	69

Figure 3.20 Capture Capture du fémur droit SEIV de Shum Laka par le logiciel 3D Slicer.....	70
Figure 3.21 Capture de la coupe osseuse du fémur gauche de Malemba-Nkulu Tombe 35.A, par le logiciel ImageJ.....	71
Figure 3.22 Les cinq coupes osseuses (section transversales) sélectionnées sur la longueur du fémur.....	72
Figure 4.1 L'aire corticale standardisée par la longueur à la section proximale (20%) des humérus gauches selon la stratégie de subsistance.....	78
Figure 4.2 La circularité de la section distale (80%) des humérus droits selon la stratégie de subsistance.....	78
Figure 4.3 CSA standardisée par la longueur à la mi-diaphyse des radius droits selon la stratégie de subsistance.....	80
Figure 4.4 La rigidité minimale standardisée par la longueur à la mi-diaphyse des radius droits selon la stratégie de subsistance (résultat similaire à 65% d'I _{min}).....	80
Figure 4.5 La rigidité maximale standardisée par la longueur à la mi-diaphyse des radius droits selon la stratégie de subsistance.....	81
Figure 4.6 I _{max} /I _{min} à 65% de la longueur totale des radius droits selon la stratégie de subsistance.....	81
Figure 4.7 I _{max} /I _{min} à 65% de la longueur totale des ulnas droits selon la stratégie de subsistance.....	83
Figure 4.8 CSA standardisée par la masse corporelle à la section proximale des fémurs gauches selon la stratégie de subsistance.....	84
Figure 4.9 CSA standardisée par la masse corporelle à 35% de la longueur totale des fémurs droits selon la stratégie de subsistance (résultat similaire à la section distale).....	85
Figure 4.10 CSA standardisée par la masse corporelle au à la mi-diaphyse des fémurs droits selon la stratégie de subsistance.....	85

Figure 4.11 I_{\max}/I_{\min} à 35% de la longueur totale selon la stratégie de subsistance.....	86
Figure 4.12 I_{\max} standardisée par la longueur à 35% de la longueur totale des tibias gauches selon la stratégie de subsistance.....	87
Figure 4.13 I_{\max} standardisée par la longueur à la mi-diaphyse des tibias gauches selon la stratégie de subsistance (résultat similaire pour J).....	88
Figure 4.14 I_{\max}/I_{\min} à 35% de la longueur totale des tibias droits selon la stratégie de subsistance.....	88
Figure 4.15 CSA standardisée par la longueur à la section distale de la longueur totale des chasseurs-cueilleurs en plaine, en montagne et en forêt.....	92
Figure A1.1 Types de végétation des tropiques.....	v
Figure A1.2 Site de fouille des sépultures de Shum Laka en 1993.....	v
Figure A2.1 Estimation de la longueur d'un radius droit à l'étude (vue antérieure).....	x
Figure A2.2 Estimation de la longueur d'un ulna droit à l'étude (vue médiale).....	x
Figure A2.3 Estimation de la longueur d'un tibia droit à l'étude (vue antérieure).....	xi
Figure A2.4 Estimation de la longueur d'une fibula droite à l'étude (vue antérieure).....	xi

Liste des abréviations

A : agriculteurs

C-C : chasseurs-cueilleurs

CSG : *Cross-sectional geometry* (il s'agit de la géométrie de la section transverse d'un os)

Kv : Kilovoltage

KUL : Kikulu

LSA : Late Stone Age, fin de l'âge de pierre

MAK : Malemba-Nkulu

mA : milliampères

R.D.C. : République démocratique du Congo

SGA : Sanga

SMA: Stone to Metal Age, âge de pierre à l'âge du fer.

Glossaire

Bantou : groupe linguistique originaire de l'ouest de l'Afrique centrale aujourd'hui présent dans 2/3 du continent africain.

Cisaillement : rupture de deux pièces de métal contiguës par suite de forces entraînant le déplacement de l'une par rapport à l'autre (contrainte mécanique appliquée de manière parallèle).

Compression : force extérieure sur l'un des côtés depuis l'une des extrémités du plan vertical.

Contrainte (tension) : réponse du tissu biologique face à la force d'une charge, qui cause la déformation. (Intensité de la force).

CSA : l'aire corticale

Flexion : fléchissement d'un objet, de 2 contraintes : tension et compression qui agissent chacun sur les deux côtés de l'os.

Force : charge qui provoque un stress interne dans un objet, capacité de résister à la rupture.

I_{max} : la rigidité maximale en flexion

I_{min} : la rigidité minimale en flexion

I_{max}/I_{min} : indice de circularité de la diaphyse (la distribution osseuse dans les deux axes).

J : la rigidité globale (résistance/ rigidité en torsion et la moyenne en flexion).

Plan sagittal : plan vertical coupant l'os en deux moitiés droite et gauche.

Plan coronal : plan vertical coupant l'os en deux moitiés antérieure et postérieure.

Plan transverse : plan horizontal séparant le corps en une partie crâniale et une partie caudale.

Pygmée : chasseurs-cueilleurs de petite stature vivant en Afrique centrale, dont font partie les Mbuti.

Second moment de l'aire : I_{\min} et I_{\max} , soit la déformation de l'os lors d'une flexion minimale et maximale.

Second moment polaire de l'aire : J , soit la déformation de l'os lors d'une torsion.

Stress : l'expression d'une charge sur l'os.

Torsion : action de tordre (mouvements en directions opposées autour d'un axe).

Je dédie ce mémoire à ma mère. Elle m'a donné cette force « spirituelle » qui me permettra, je l'espère, de comprendre et d'aborder le monde qui m'entoure sous toutes ces formes.

Remerciements

Je remercie mes directrices, Dre Michelle Drapeau et Dre Isabelle Ribot, qui ont su m'aider dans les moments nécessaires et m'ont permis d'être autonome dans les moments opportuns. Je remercie grandement Michelle pour son soutien tout le long de mon mémoire, pour ses réponses aux petites et aux grandes questions, pour son aide si précieuse malgré cette période mouvementée. Je voudrais aussi remercier Isabelle pour son partenariat avec Michelle, pour son aide lors de mon séjour de recherche à Bruxelles, puis finalement pour sa disponibilité, sa douceur et sa grande gentillesse.

Je souhaite remercier les chercheurs, que j'ai eu l'honneur de rencontrer à Bruxelles. Je commencerais par le Dr Stéphane Louryan pour m'avoir donné accès au scanner médical (tomodensitomètre) à l'hôpital Érasme. Sans oublier Patrick Semal et ses collaborateurs comme Caroline Polet, pour leurs accueils chaleureux à l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, et bien sûr pour nous avoir donné accès aux collections humaines.

La réussite de ce séjour à Bruxelles n'aurait pu se faire sans la radiologue, Charlotte qui dès sept heures du matin et parfois jusqu'à 21 heures m'a aidé et accompagné pour numériser chacun des membres de mes populations. Elle a été d'une efficacité, d'une générosité et d'une gentillesse incomparable.

Merci aussi aux membres du Jury, les Dr Christian Gates St-Pierre et Julien Riel-Salvatore pour avoir révisé mon mémoire.

Je souhaite aussi remercier les différentes contributions financières pour ce mémoire, comme la subvention d'exploration (I Ribot) qui a obtenu un permis d'éthique (Université de Montréal (Udem): CERSC-2021-107-D), la maison internationale de l'Udem et la bourse de mobilité du département d'anthropologie.

Finalement, je remercie ma famille, mes amis anthropologues et archéologues qui m'ont été d'un grand soutien.

Introduction

Le corps humain est un outil de première main pour comprendre le cadre dans lequel l'être humain a vécu. En effet, à l'aide des ossements humains, les anthropologues étudient le comportement et l'environnement des sociétés passées. Cette approche se nomme l'écomorphologie. Cette science permet de reconstruire l'environnement à l'aide des traits écologiques qui permettent de comprendre les traits morphologiques des espèces (Barr 2018). « L'écomorphologie a une diversité d'applications en paléontologie et en archéologie » (Vaillancourt 2017, 1). Entre autres, elle permet de reconstruire le paléoenvironnement (Curran 2009; Gruwier et Koravic 2021; Kovarovic et al. 2021), d'étudier la variation morphologique et la paléontologie (Becker et al. 2015; Meloro et al. 2017; Vaillancourt 2017; Quiblier 2020; Koravic et al. 2021; Meloro et Tamagnini 2021), et la paléoanthropologie (Curran 2009). Pour ce mémoire, elle implique une corrélation entre les conditions de vie, comme la stratégie de subsistance, et la morphologie humaine. L'écomorphologie utilise donc l'os humain pour comprendre le comportement des sociétés humaines, car l'os est un tissu vivant qui réagit à toutes les charges¹ mécaniques reçues lors des mouvements. De fait, comprendre la réponse biologique de l'os, c'est comprendre la mécanique osseuse qui permet de reconstruire la vie des individus. Une discipline est née de ce principe : la biomécanique. Cette dernière, une application des principes mécaniques dans le système biologique (Fried 2013), est utilisée comme moyen d'étude dans le cadre de ce projet. Ce concept, développé au 18^{ème} siècle, par les orthopédistes et les anatomistes, est utilisé dans divers domaines. Parmi eux, l'anthropologie l'utilise pour analyser les variations du squelette parmi les populations passées et présentes (Ruff 2008; Boucher 2012). En d'autres mots, la biomécanique permet de reconstruire le modèle de comportement des populations humaines passées et actuelles. De ce fait, l'analyse biomécanique mesure la quantité et la distribution de l'os cortical diaphysaire qui reflète les charges habituelles reçues (Trinkaus et Ruff 2012).

L'étude de la robustesse des ossements remonte au 17^{ème} siècle. En 1638, déjà, Galilée étudiait la robustesse des os longs dans la section transversale des os. Au cours des siècles qui suivirent

¹ Une charge est une force, un poids que peut supporter ou absorber un objet.

et plus particulièrement au 20^{ème} siècle, la biomécanique a été appliquée pour analyser la locomotion des primates et l'effet de la diète sur la morphologie crânienne (Ruff 2008). L'intérêt a alors été mis sur les propriétés physiques de l'os qui facilitent l'analyse de la force osseuse, dans le but de comprendre les changements morphologiques de la lignée humaine.

Selon plusieurs chercheurs, les mesures de la robustesse diaphysaire permettent d'observer les différences de la rigidité osseuse liées à la taille corporelle, le comportement, le climat et d'autres facteurs (Stock et Shaw 2007). Pour quantifier la robustesse, on mesure le diamètre externe ou la géométrie en coupe transversale («cross-sectional geometry»). Les propriétés géométriques des coupes transverses de l'os sont utilisées pour reconstruire l'histoire des charges mécaniques subies par l'os. Cette méthode permet d'aborder le thème de la locomotion et de l'évolution de la robustesse humaine. Elle permet de mesurer les changements de structure du squelette pendant la croissance et le développement (O'Neill et Ruff 2004), et plus important dans le cas présent, les effets de la stratégie de subsistance sur le corps humain. Elle utilise comme principe le « modèle des poutres » emprunté à l'ingénierie. Celui-ci compare les os longs aux poutres métalliques, qui chargés mécaniquement ont un comportement similaire (O'Neill et Ruff 2004). De cette façon, l'étude des os longs permet de déduire les charges mécaniques subies au sein d'un organisme vivant. C'est-à-dire, la réaction de l'os dans un environnement face à une activité physique répétée sur le corps.

Les études de la robustesse osseuse (rigidité) permettent d'étudier les populations agricoles et préagricoles dans une perspective écomorphologique. Elles peuvent explorer les possibles changements ayant un impact sur les tissus osseux et leurs forces osseuses, telles que des phases clé de transition économique, par exemple le passage du mode de vie chasseurs-cueilleurs au mode agricole. Des recherches ont été entreprises sur plusieurs continents, mais celles portant sur l'Afrique se sont surtout cantonnées au sud du continent (Stock et Pfeiffer 2001, 2004; Stock 2006; Stock et Shaw 2007; Larsen et Ruff 2011; Lieverse et al. 2011; Marchi et al. 2011; Pinhasi et Stock 2011; Ruff et al. 2012, 2015). Dans le cas présent, ce sont les membres supérieurs et inférieurs de populations centrafricaines qui sont étudiés pour la première fois en lien avec diverses variables comme le milieu et l'économie.

L'Afrique est un continent habité de nombreuses cultures et de différents modes de vie. Dans le cadre de ce mémoire, l'emphase sera donc mise sur l'exploration de la robustesse de divers groupes économiquement et chronologiquement différents et localisés au centre du continent africain : les populations de chasseurs-cueilleurs et d'agriculteurs de la République démocratique du Congo (R.D.C.) et les chasseurs-cueilleurs du Cameroun.

Notre question centrale de recherche est la suivante : peut-on observer une différence morphologique des os longs avec la transition vers l'agriculture ? Plus précisément, est-ce que les agriculteurs ayant recours aux membres supérieurs pour le travail des champs ont des membres supérieurs plus robustes que les chasseurs-cueilleurs ? A contrario, ces derniers, étant plus mobiles, ont-ils les membres inférieurs plus robustes que les premiers ?

Pour répondre à cette problématique, le premier chapitre documentera l'environnement de l'Afrique centrale² à l'époque de la transition, remontant à l'Holocène moyen, ainsi qu'une mise en contexte des populations étudiées. Le second chapitre soulignera la structure de l'os long, les différents facteurs affectant la robustesse osseuse et les études précédentes sur la force osseuse de diverses communautés de chasseurs-cueilleurs et d'agriculteurs. Au sein du chapitre 3, le matériel étudié ainsi que les différentes méthodes d'analyses seront évoqués. Les chapitres 4 et 5 présenteront et discuteront des données obtenues de la robustesse des membres supérieurs et inférieurs et des différents facteurs affectant la structure osseuse des chasseurs-cueilleurs et des agriculteurs. Enfin, une conclusion sera faite sur les apports du sujet, de la méthode, de ses limites et d'autres moyens pour améliorer la compréhension de la robustesse humaine.

² Dans ce mémoire, le terme « centrafricain(e)s » fait référence aux populations d'Afrique centrale à l'étude et non aux populations de la « Centrafrique », le pays.

Chapitre 1- L'Afrique centrale, une région clé pour l'histoire du peuplement

Le continent africain, qu'on qualifie de berceau de l'humanité, a mis au jour les plus anciens fossiles hominines (connus à ce jour) de la fin du Miocène. Ce continent est le témoin de l'origine et de la diversification des humains anatomiquement modernes. Cependant, l'Afrique est peu documentée, en particulier pour la période qui précède l'Holocène (Cornelissen 2002). En effet, un nombre très restreint de sites archéologiques en Afrique possède des restes humains du Pléistocène supérieur assez bien préservés pour permettre leur étude, comme *Nazlet Khater 2* en Égypte et *Hofmeyr* en Afrique du Sud (Grine et al. 2007; Crevecoeur et al. 2016). Ce fait s'observe aussi pour les périodes les plus anciennes de l'Holocène, surtout en Afrique centrale où divers facteurs nuisent à la conservation des restes humains (Ribot, Orban et De Maret 2001; Ribot 2011; Crevecoeur et al. 2016; Lipson et al. 2020). Malgré tout, quelques sites clé, par exemple, Shum Laka au Cameroun, ont livré des restes humains fragmentaires, mais néanmoins analysables (Ribot, Orban et De Maret 2001; Ghalem 2020; Lipson et al. 2020).

L'arrivée des colons européens au 16^{ème} siècle a profondément marqué les peuples et territoires africains. À l'époque coloniale, la diversité biologique et culturelle du continent africain était sous-estimée, peu mise en avant et mal « étudiée ». L'époque post-coloniale conserve une idéologie coloniale longtemps encrée dans l'organisation des pays africains. Cependant, le désir de chercheurs africains et des africanistes, par un processus de décolonisation, est de restituer toutes les histoires de l'Afrique (Karega et Schmidt 2010). Fort heureusement, les avancées scientifiques d'archéologues comme Pierre De Maret (1977, 1982, 1985, 1992, 2013, 2016), et de bioanthropologues comme Jean Hiernaux (1992), ou d'historiens comme Jean-Philippe Fauvelle (2018), et de bien d'autres déconstruisent ces présupposés. Ils dévoilent la diversité historique de cet espace (surtout pour l'Afrique sub-saharienne) qui a vu, entre autres, l'éclosion de grands empires. Les délimitations géographiques, c'est-à-dire les frontières actuelles, créées par les colonisateurs, ne sont que le fruit des sociétés humaines et n'ont de valeurs que celles que leur donne l'être humain, comme le souligne MacEachern (2007). Effectivement, d'une

frontière à l'autre, il existe une multitude de peuples et de cultures qui partagent des points communs, malgré ces limites géographiques. De tout temps, l'Afrique a été et reste le lieu de multiples écosystèmes, sociétés humaines, traditions, modes de vie et langues. Le peuplement du continent africain est si ancien et varié qu'il est difficile de tout citer. Dans le cas présent, l'accent sera mis sur l'Afrique centrale³, une des aires culturelles, linguistiques et biologiques les plus riches au monde (Patin et Quintana-Murci 2018; Schlebusch et Jacobson 2018).



Figure 1.1 La carte du continent africain (Dreamstime, s.d.). En orange : les pays d'Afrique centrale, en jaune le nord de l'Afrique, en bleu l'Afrique de l'Ouest, en vert l'est de l'Afrique et en rose les pays d'Afrique du Sud. L'Afrique centrale est composée de neuf pays, le Tchad, le Cameroun, la République Centrafricaine, la Guinée-Équatoriale, Sao Tomé-et-Principe, le Gabon, le Congo, la République démocratique du Congo (R.D.C.) et l'Angola.

L'étendue de la région centrafricaine est un lieu clé pour comprendre la transition agricole, la structure des populations, les dynamiques des chasseurs-cueilleurs et les premières communautés agricoles bantouphones au cœur de la forêt tropicale et des savanes (Clist 1990; Cornelissen 2002; Wang et al. 2020). L'agriculture s'est accompagnée de la fabrication de

³ L'Afrique centrale (figure 1.1) n'inclut pas toujours le Cameroun (Patin et Quintana-Murci 2018). Nous choisissons, cependant, de par sa proximité et ses biomes de le considérer comme appartenant à l'Afrique centrale.

poteries et d'outils en fer, du partage des langues et des traditions orales des fermiers bantous (Bostoen 2018). Les communautés agricoles ont réalisé et réalisent encore des échanges technologiques avec les chasseurs-cueilleurs (Vansina 1990). En Afrique centrale, ce contact est basé principalement sur une stratégie socioéconomique (voir section 1.3.1.3).

La tradition orale, les études linguistiques et (paléo-)génétiques, l'histoire et l'archéologie nous renseignent sur la vie passée des populations centrafricaines. Ce sont des preuves de leurs histoires (Bostoen 2018; Schlebusch et Jakobsson 2018). Dans ce chapitre, l'environnement, la génétique, la linguistique et quelques sites archéologiques associés aux populations centrafricaines sont évoqués.

1.1 Le paysage centrafricain

« The Central African belt — a vast territory that extends from the Congo Basin in its western part to Lake Victoria in its easternmost part — is mostly covered by dense rainforests and supports one of the highest levels of biodiversity worldwide. » (Patin et Quintana-Murci 2018, 90).

1.1.1 bouleversements climatiques et environnementaux

Grâce aux analyses sédimentaires, il a été possible de définir les changements climatiques du passé. Tout d'abord, la grande période glaciaire de 25 000 à 16 000 ans, au Pléistocène s'accompagne du développement des savanes et des forêts, puis il y a 12 000 ans, au début de l'Holocène, le climat devient frais et sec (Cornelissen 2013). Peu après, entre 8 000 et 6 000 ans, un réchauffement climatique, dont une humidité croissante, entraîne la disparition des savanes et l'installation de la forêt tropicale (connue actuellement) et la montée des lacs. À l'Holocène, vers 2 800 ans, un pic d'aridité entraîne la diminution de la zone forestière en Afrique centrale, remplaçant les arbres par la savane et la prairie (De Saulieu et al. 2018; Maley et al. 2018). Par conséquent, les variations climatiques (sèche/humide) à l'Holocène ont permis l'augmentation des savanes et une réduction du milieu forestier, qui est une cause possible du

développement de populations agricoles dans ce nouvel environnement. Les changements climatiques auraient alors facilité la migration des groupes linguistiques bantous (voir la section 1.2.2) (Bayon et al. 2012; Bostoen et al. 2015). Bien que le climat ait joué son rôle dans la répartition des biomes, l'impact anthropique semble aussi jouer sa part dans la modification de l'environnement en Afrique centrale (ex. déforestation due à l'agriculture, exploitation du bois pour la métallurgie) (Malhi 2018).

1.1.2 Les biomes

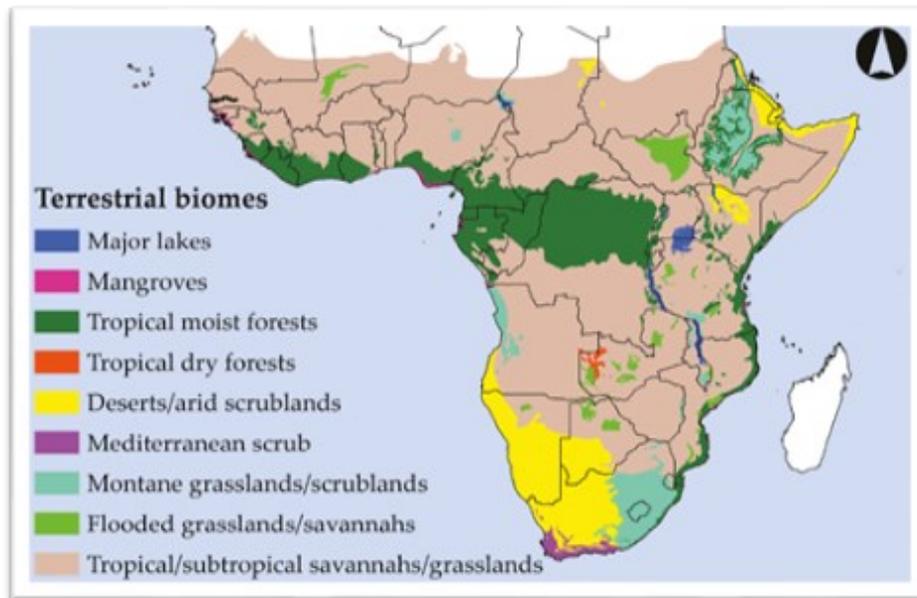


Figure 1.2 Biomes du continent africain (Orson et al. 2001, cité dans Wilson et Primack 2020). En vert foncé, se trouve l'étendue de la forêt tropicale en Afrique centrale et en beige la savane et la prairie.

L'Afrique centrale est principalement couverte par un biome forestier, un écosystème nommé forêt tropicale. Cette aire régionale est composée de plaines (savanes) au sud, d'une mosaïque de forêts sempervirentes et de savanes au nord, d'une forêt (montagneuse) à l'est et de la côte atlantique à l'ouest (Cornelissen 2002). La forêt tropicale de la plaine équatoriale s'étend depuis trois millénaires de l'ouest de la Sierra Leone à l'est de la Côte d'Ivoire, en passant par la savane

du Dahomey au sud du Bénin et du Togo, au sud du Nigeria et du Cameroun, sur la Guinée-Équatoriale et le Gabon, le bassin Congo, le Congo Brazzaville et le Congo-Kinshasa (figure 1.2) (Cornelissen 2013).

Le nord-ouest du Cameroun est couvert de prairies (en milieu montagneux) et de savanes. Le sud du Cameroun est perçu comme une zone homogène composée de deux types de forêts, la sempervirente qui garde ses feuilles toute l'année et enfin la semi-décidue (Annexe 1. Figure A1.1) qui perd une partie de ses feuilles pendant la saison sèche (De Saulieu et al. 2018). En République Démocratique du Congo (R.D.C.) se trouve une immense forêt tropicale avec une variété d'espèces fauniques et végétales. En outre, la R.D.C. contient des zones inondées avec des champs surélevés et d'importantes ressources aquatiques. L'alternance des saisons et les précipitations expliquent la variété botanique de ces différents biomes (Cornelissen 2013). Ainsi, l'Afrique centrale est un lieu d'habitat pour de nombreux milieux et groupes humains.

C'est dans ce contexte écologique qu'ont vécu les ancêtres des peuples résidants actuellement sur ce territoire.

1.2 Gènes et langues

Actuellement, les peuples vivant dans la forêt équatoriale et en bordure de celle-ci sont les chasseurs-cueilleurs ('pygmées'⁴) et les agriculteurs (bantous) qui possèdent, entre autres, une diversité dans l'expression phénotypique et différentes stratégies de subsistance (Cornelissen 2013). Avant d'exposer cette diversité génétique et linguistique, rappelons que les termes 'pygmées' et 'bantous' seront utilisés selon les définitions suivantes, telles que :

- Le terme 'pygmée' regroupe en Afrique centrale une multitude de groupes ethnolinguistiques très diversifiés, qui ont des similarités économiques (ex. chasse, cueillette, pêche), physiques (ex. petite stature) suite à une longue adaptation au milieu,

⁴ Il existe plusieurs groupes de Pygmées, ainsi les Mbuti à l'étude ne sont qu'un peuple parmi les populations Pygmées (voir section 1.3.1.3).

ainsi qu'une origine génétique commune (Bahuchet 2012a, Bahuchet 2012b; Verdu et Destro-Bisol 2012; Migliano et al. 2013; Estoup et al. 2018).

- Le terme 'bantou' est utilisé ici dans un sens uniquement linguistique comme expliqué plus bas (Vansina 1995).

1.2.1 Les données linguistiques

La région centrafricaine est occupée par les peuples bantouphones depuis les bouleversements climatiques de l'Holocène. Les Bantous sont originaires d'Afrique de l'Ouest et appartiennent à l'un des groupes linguistiques les plus anciens et connus du continent africain (Schwartz 1992). Ce groupe appartient à l'un des phylums les plus larges d'Afrique, le Niger-Kordofanian, qui inclut la branche Niger-Congo. Cette dernière regroupe plusieurs langues parlées (divisée en 4 sous-branches), de l'Afrique occidentale à australe, dans plus des deux-tiers de l'Afrique subsaharienne. Enfin, l'une des sous-branches linguistiques, le groupe oriental benue-congo qui comprend les langues bantoues est originaire des Grassfields au nord-ouest du Cameroun (Schwartz 1992; Rocha et Fehn 2016). La distribution des langues bantoues dans tout le sous-continent africain est le reflet des multiples vagues migratoires. En effet, selon Bostoen et al. (2015), la propagation des groupes bantouphones remonterait à 7 000 ans, en prenant son origine dans le sud-est du Nigeria et le nord-ouest du Cameroun (figure 1.3). C'est un lieu où les langues bantoues étaient en contact avec d'autres langues benue-congo (Bostoen et al. 2015). L'hypothèse la plus courante stipule que ces langues se sont propagées dans les savanes du nord, sont descendues le long du fleuve Congo et dans quelques zones intra lacustres, le second foyer d'expansion de cette langue se trouvant plus à l'est (Schwartz 1992).

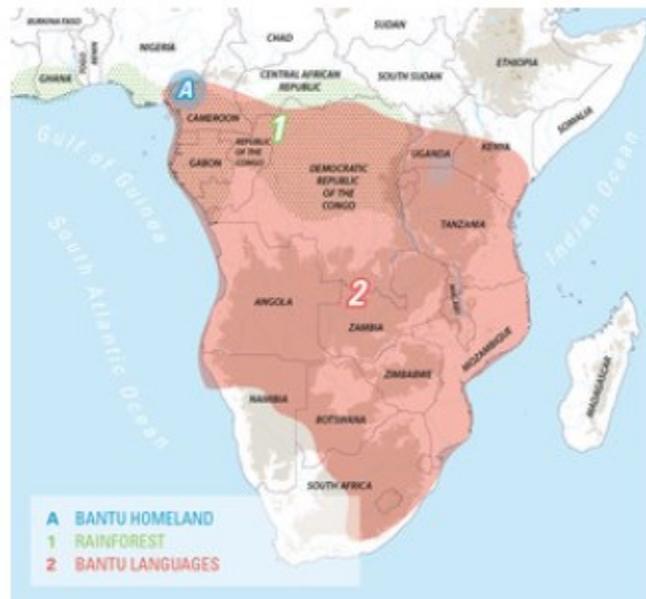


Figure 1.3 L'expansion bantoue (Bostoen 2018, 2)

À l'Holocène, la fragmentation du paysage végétal a semble-t-il favorisé la diffusion des langues le long des milieux aquatiques, soit les lieux qui attirent les populations humaines. De nos jours, l'Afrique subsaharienne est composée de 250 millions de locuteurs bantous (Rocha et Fehn 2016; Bostoen 2018) et la plupart des populations centrafricaines actuelles sont bantouphones et associées aux premières populations agricoles de la région. Bien que diverses, les populations de langue bantoue s'étendent sur la majorité du continent africain (Coupé et al. 2017). Par conséquent, comprendre l'origine des peuples d'Afrique centrale passe par la linguistique, mais aussi la génétique.

1.2.2 Interactions génétiques entre les chasseurs-cueilleurs et les agriculteurs

Le flux génique favorise la variation génétique des populations humaines. Comprendre les changements génétiques permet de reconstruire les migrations, donc les changements démographiques des peuples dans le passé, même en l'absence de preuves archéologiques. Il est

reconnu que depuis 250 000-200 000 ans, les chasseurs-cueilleurs d’Afrique du Sud se sont séparés des autres populations africaines (Lipson et al. 2020). Vers 80 000-60 000 ans, plusieurs lignages humains se sont divisés entre l’Afrique de l’Ouest/Est et les non-africains. Puis, les chasseurs-cueilleurs d’Afrique centrale se sont également séparés (Lipson et al. 2020; Wang et al. 2020). Effectivement, il y a 60 000 ans, les ancêtres des populations Pygmées et non-Pygmées se sont séparés (Becker et al. 2013). Selon Patin et Quintana-Murci (2018), depuis 20 000 ans, les populations chasseurs-cueilleurs d’Afrique centrale se seraient séparées en deux grands groupes, à l’est et l’ouest. Plus récemment, il y a 2 800 ans, les chasseurs-cueilleurs se seraient différenciés génétiquement en plusieurs sous-groupes, à l’est comme à l’ouest (figure 1.4). Malgré la séparation des groupes Pygmées, la pression de la sélection naturelle a maintenu la petite stature chez ces peuples. En effet, la signature génétique de sélection positive ciblant un groupe de gènes dans plusieurs groupes de chasseurs-cueilleurs affecte la taille corporelle (Becker et al. 2011; Hsieh et al. 2016; Patin et Quintana-Murci 2018; Zoccolilo et al. 2020). Par conséquent, en réponse au milieu forestier, tous possèdent le même trait morphologique propice à ce milieu. Ainsi, les peuples vivants dans la forêt d’Afrique centrale ont fait l’objet d’études génétiques dans le but de reconstruire l’histoire démographique, ainsi que le changement de la taille corporelle et le flux génique, peu documentés au niveau bioarchéologique.

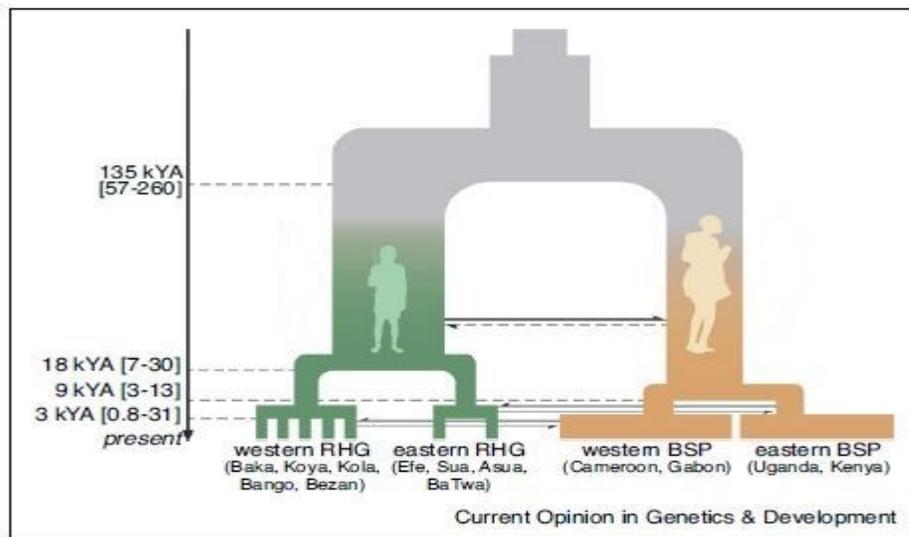


Figure 1.4 Séparation entre les chasseurs-cueilleurs et les agriculteurs (Pantin et Quintana-Murci 2018). RHG : les chasseurs cueilleurs de la forêt tropicale (Pygmées), BSP : les agriculteurs bantous

D'après Patin et Quintana-Murci (2018), de 20 000 à 25 000 ans, il y a une importante diversité génétique. Cette dernière date de l'époque antérieure à l'arrivée de populations agricoles en Afrique centrale. Les locuteurs bantous actuels du centre, de l'est et sud du continent présentent quelques différences génétiques apparues après la migration. Cette dernière a favorisé leur rencontre avec entre autres, les chasseurs-cueilleurs. En effet, durant les 10 000 dernières années, les bantous ayant une plus grande densité démographique ont assimilé certains groupes de chasseurs-cueilleurs (Rocha et Fehn 2016). Ces déplacements progressifs sur le territoire ont eu pour conséquence d'augmenter le flux génique entre ces groupes. Selon Patin et Quintana-Murci (2018), certains ont par exemple acquis la persistance de la lactase, en échangeant et recevant des gènes de groupes pastoraux. De plus, il y a 7 000 ans, un flux génique entre les ancêtres des chasseurs-cueilleurs et les agriculteurs par des unions entre ces deux groupes aurait permis à certains Pygmées d'avoir une plus grande taille corporelle (Bahuchet et Guillaume 1982).

L'analyse du génome en Afrique centrale a permis de connaître l'histoire et l'évolution des groupes humains habitant ces régions. Les études mentionnées ci-haut soulignent les différences génétiques liées aux lieux et aux modes de vie de ces populations. Plus que des changements morphologiques et biologiques, plus qu'un mode de vie, c'est tout un panel de cultures très diversifiées qui s'implantent avec l'apparition de l'agriculture en Afrique centrale.

1.3 Diversité des modes de vie et les sites archéologiques en Afrique centrale

Les traces archéologiques peuvent fournir des preuves matérielles et chronologiques pour retracer l'expansion des peuples bantous. Ces derniers sont considérés comme les premières populations agricoles centrafricaines, soit les premières populations sédentaires (De Maret 1977; De Maret et Nsuka 1977; Clist 1990; Froment 1998; Mindzie et al. 2001). Datant des derniers 5 000 ans, de nombreux sites avec des traces d'une sédentarisation ont été trouvés (poterie, plantes, animaux domestiques) sur l'ensemble du continent africain.

Avec son milieu forestier et la savane, l’Afrique centrale offre un habitat diversifié pour les différents groupes culturels qui pratiquent l’agriculture, le pastoralisme, la chasse, la cueillette et la pêche (Dounias et al. 2016). Plus encore, ces différents peuples sont marqués par le pluralisme des stratégies de subsistance, notamment grâce aux échanges bilatéraux avec les chasseurs-cueilleurs. Actuellement, la majorité des communautés agricoles sont sédentaires en zone rurale ou urbaine. Les chasseurs-cueilleurs eux vivent dans des habitats temporaires au sein de la forêt et pratiquent une mobilité saisonnière (Mandjo et al. 2015). Plus que tout, c’est la co-existence — qui n’est pas toujours évidente à cause d’un facteur clé (comme la déforestation) — avec les communautés agricoles, qui permet de maximiser le potentiel de leur mode de vie et de leur espace, tant aujourd’hui que par le passé.

1.3.1 Les chasseurs-cueilleurs

Les communautés de chasseurs-cueilleurs actuels s’adaptent aux fluctuations des ressources fauniques et florales pour se nourrir, avec une mobilité variable selon les régions. Ces peuples pratiquent la chasse, la collecte du miel parfois même la domestication et l’élevage, et des échanges d’aliments (Hewlett 1996). Ces communautés ont ainsi de multiples moyens de subsistance face à un environnement, qui a varié au cours du temps, et qui a donné naissance à de multiples adaptations comme en témoignent divers sites archéologiques (ex. Ishango, Shum Laka).

1.3.1.1 Ishango, République Démocratique du Congo

Au nord-est de la R.D.C., dans la province Nord-Kivu sur les falaises formant la rive droite, « de la rivière Semliki qui est un exutoire du lac Rutanzige, anciennement lac Édouard », (Orban et al. 2001, 1) se trouve le site d’Ishango (figure 1.5) où ont été mis au jour de nombreux spécimens de la lignée humaine (De Heinzelin de Braucourt 1950; Peters 1990; Crevecoeur et al. 2014, 2016).

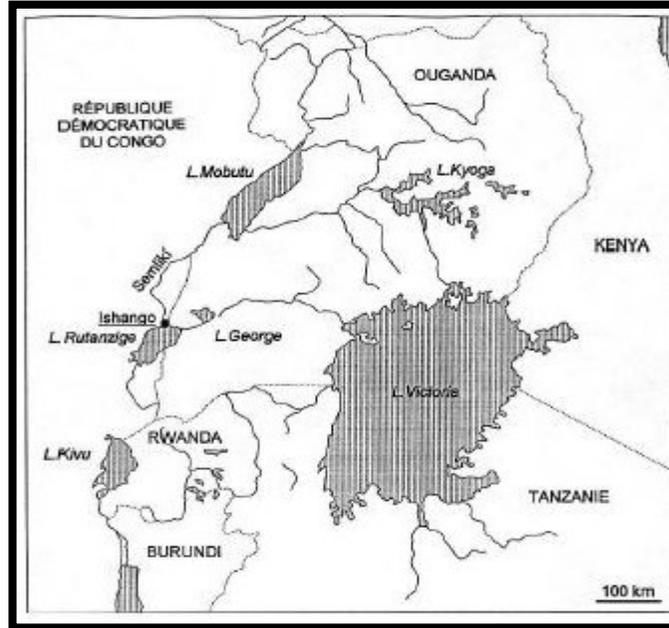


Figure 1.5 Localisation du site d’Ishango au nord-est de la R.D.C. (Orban et al. 2001, 2)

Depuis le Pléistocène, entre 20 000 et 25 000 ans, cette région est habitée par une faune dense et des galeries de forêt associées à une savane ouverte. Depuis 1925, le site d’Ishango se situe dans le parc national Virunga, une région qui a attiré de nombreux peuplements humains (passés et actuels) étant donné la grande fertilité des sols riches en cendres volcaniques (ADIA et RBINS, s.d.).

Ce site archéologique a été découvert en 1935 par Damas Hubert, un zoologiste de l’Université de Liège. Les premières campagnes de fouilles ont été dirigées par Jean De Heinzelin (de Braucourt), un géologue, au cours des années 1950. Il a divisé le site en deux couches : le « niveau fossilifère principal » daté à 20 000 ans et la « zone post-émersion » (Froment 1998). Une deuxième fouille a ensuite eu lieu en 1985-1986 (Peters 1990; Orban et al. 2001; Crevecoeur et al. 2016). Les données géologiques, paléontologiques et archéologiques situent la culture d’Ishango de 9 000 à 7 000 ans (De Heinzelin 1962, cité dans Peters 1990). Ces expéditions ont permis la découverte d’une ancienne activité humaine avec deux mandibules humaines (de la fin du Mésolithique), des restes fauniques et des têtes de harpons en os. Le grand nombre d’os d’herbivores suggère qu’il y avait de meilleures conditions climatiques avant l’Holocène,

propices au développement de ces populations (Peters 1990). En outre, les cendres volcaniques présentes dans les sédiments des deux couches ont permis la fossilisation, donc la bonne conservation de milliers d'ossements humains (figure 1.6), d'animaux et d'outils en quartz et d'os datés à 25 000 ans, comme sur le site d'Ishango 11 (Crevecœur et al. 2016).



Figure 1.6 Os d'un squelette humain complet, découvert en 1935 et de 1950 à 1959 (ADIA et RBINS, s.d.,12)

Enfin, un artefact de la préhistoire africaine a été découvert : il s'agit de l'os d'Ishango (figure 1.7). Selon Jean De Heinzelin, cet objet serait le premier outil numéraire, un objet mathématique. Une hypothèse qui reste à confirmer (ADIA et RBINS, s.d.).



Figure 1.7. Les 4 faces de l'os d'Ishango (ADIA et RBINS, s.d., 18)

Lors des exhumations, 138 éléments squelettiques d'au moins 12 individus ont été répertoriés dans la couche fossile principale. Il s'agit de cinq adultes, un adolescent, quatre enfants et deux nouveau-nés. Ces ossements constituent la plus large et plus vieille collection de restes humains

modernes de l’Afrique centrale, datés entre 25 000 et 3 000 ans (du Pléistocène à l’Holocène). Malgré leur appartenance au genre *Homo sapiens*, ils possèdent quelques traits archaïques. En effet, les études révèlent que les individus d’Ishango sont plus robustes que les populations récentes (ADIA et RBINS, s.d.; Cornelissen 2013; Crevecœur et al. 2016). En outre, ces restes humains appartiennent probablement aux groupes de type chasseurs-pêcheurs-cueilleurs.

La proximité du lac Édouard explique le recours fréquent aux ressources aquatiques et une sédentarité partielle (figure 1.4). Parmi les nombreux os exhumés, des poissons comme l’hippocampe, des mammifères comme le phacochère, la loutre, le buffle et quelques espèces d’antilopes, et d’oiseau comme les ibis, le pélican ou la spatule, ont été découverts et soulignent une forte tendance à la pêche et à la chasse (ADIA et RBINS, s.d.). De plus, les traces de coupes sur les ossements sont des signes d’une exploitation par les humains. Quant à l’exploitation des ressources végétales, même s’il n’existe aucune preuve directe, la présence de poterie et des meules sur le site suggèrent une utilisation pour moulinier les graines sauvages (ADIA et RBINS, s.d.). Des poignées d’os gravés, deux harpons cannelés (figure 1.8), des centaines de têtes de harpons ainsi que des pointes de lances barbelées extraites des berges du lac Édouard⁵, utilisées pour pêcher, indiquent l’utilisation d’une technologie de l’os (Brooks et Smith 1987, Brooks et Suchey 1990). En plus, les études fauniques confirment l’importance d’une diète aquatique dès le Pléistocène supérieur (Peters 1990). Le site d’Ishango est donc un exemple d’une importante exploitation d’un biome par une mobilité terrestre, mais surtout aquatique depuis le Pléistocène supérieur, comme suggérée par l’étude morphométrique de Crèveœur et al. (2016) sur deux restes postcrâniens humains, un humérus (#Ish31) et un tibia (#Ish33) (voir chapitre 5).

⁵ Au bord duquel se trouve le site d’Ishango (voir figure 1.5).



Assorted harpoons with one or two rows of barbs and a barbed point.
(tar righi)

Figure 1.8. Harpons extraits du lac Édouard, au bord duquel se trouve le site d'Ishango
(ADIA et RBINS, s.d., 14)

1.3.1.2 Shum Laka, Cameroun

Shum Laka est un abri-sous-roche, une vaste cavité de 50 mètres de large dans le nord-ouest du Cameroun, à la frontière nord de la forêt équatoriale (De Maret et al. 1987; Lavachery et al. 1996). Il est situé au cœur des *Grassfields*, une région de savane au relief accidenté par d'anciens massifs volcaniques, à 1 500 m d'altitude au sud d'une crête montagneuse (Clist 1990; Orban et al. 1996; Ribot, Orban et De Maret 2001; Lipson et al. 2020). Le site se trouve au sein de la dépression causée par l'activité volcanique « caldera de Bafotchu-Mbu ».

Selon Lavachery et al. (1996), l'occupation humaine la plus ancienne du site remonterait à 30 000 ans avant le présent. Les fouilles archéologiques de Shum Laka ont permis la découverte d'un cimetière utilisé de 9 000 à 3 000 ans (Annexe 1. Figure A1.2). Les campagnes de fouilles réalisées par Pierre De Maret au début des années 1990 (Lavachery et al. 1996 ; Ribot, Orban et De Maret 2001) ont mis au jour 18 squelettes dont 11 enfants et sept adultes de l'Holocène tardif. Deux phases d'inhumation ont été enregistrées. La 1^{ère} phase d'inhumation a débuté il y a 7 000 ans et la seconde, il y a 3 000 ans (Late Stone Age-Iron Age ou « Stone to Metal Age⁶ », SMA). La première phase d'inhumation regroupe trois ensembles de sépultures (unité 1, 2 et 3)

⁶ De l'âge de pierre à l'âge du fer

avec majoritairement des juvéniles et la deuxième phase inclut cinq autres ensembles de sépultures (unité 4, 5, 6, 7 et 8) (Orban et al. 1996; Ribot, Orban et De Maret 2001; Lipson et al. 2020). Les fouilles ont révélé la présence croissante d'une industrie macrolithique, surtout pour la période tardive (*SMA*) : des bifaces, des racloirs, des grattoirs et des denticulés ont été découverts avec des restes fauniques et de la céramique (Lavachery 1996).

Les individus exhumés étaient probablement des chasseurs-cueilleurs et/ou horticulteurs du *SMA*, donc de la transition âge de pierre/âge du fer. Ces derniers jouissaient d'un environnement mixte ; ils exploitaient les ressources de la forêt et des savanes (Cornelissen 2013). L'exhumation des squelettes a révélé différentes pratiques funéraires. Il s'agit d'inhumations doubles et simples, et secondaires ou primaires, à l'Holocène, de squelettes parfois presque complets malgré une importante fragmentation (Ribot, Orban et De Maret 2001; Cornelissen 2013; Lipson et al. 2020).

1.3.1.3 Les « Pygmées » ou Mbuti, République Démocratique du Congo

« The African Pygmies of the Congo Bassin are the largest and most diverse group of active hunter-gatherers that remain in the world. At least fifteen different ethnolinguistic groups exist in the Congo Basin, with a total population of 250,000 to 350,000 individuals. » (Hewlett 2014, xvii).

Le mot pygmée venant du mot grec *pugon* fait référence à la petite taille d'un être humain. Il a pour la première fois été utilisé par Homère dans l'Iliade pour décrire les populations mythiques de petite stature. Ils sont aussi évoqués en Égypte dans la lettre du pharaon Pépi II et dessinés sur le mur d'une tombe (Froment 1993; Verdu 2006; Becker et al. 2011; Hewlett 2014). Il existe plusieurs populations qualifiées de Pygmées : en Amérique du Sud, en Asie du Sud-Est et enfin en Afrique centrale (Froment 1993; Patin et Quintana-Merci 2018). Selon des sources écrites contemporaines, vers 1860, deux explorateurs occidentaux du nom de Paul du Chaillu et George Schweinfurth ont déclaré avoir trouvé les mythiques Pygmées d'Homère en Afrique centrale. De nombreuses monographies, dont l'une écrite par l'Abbé Banier (1729), décrivent ce peuple.

Durant la même période, plusieurs hypothèses décrivaient les Pygmées comme un peuple autochtone ou comme la conséquence de la dégénérescence issue d'une population antérieure (forme primitive de l'humanité). Ces hypothèses se sont avérées fausses (Froment 1993; Hewlett 2014). Plusieurs noms ont été utilisés pour décrire ces peuples : « Dwarfs, zwerger, Nains, Négrilles (little Negroes) » (Bahuchet 2014,1). Malgré une certaine controverse, les chercheurs ont décidé de nommer ces peuples de petites tailles « pygmées ». Cette notion est pour certains un terme péjoratif à éviter, et pour d'autres, ce nom leur donne un statut (Robillard et Bahuchet 2012).

Les Pygmées d'Afrique centrale sont des chasseurs-cueilleurs de la forêt équatoriale et vivent principalement des ressources de la forêt. Leur petite taille a une base génétique et est de nature adaptative, étant propice à un environnement forestier dense (règle de Bergmann) (Froment 1998; Becker et al. 2011). En effet, la réduction corporelle en forêt permet une meilleure thermorégulation, étant donné qu'une petite taille facilite les déplacements dans une forêt dense et limite les coûts énergétiques dans les milieux humides et chauds. De plus, la réduction de taille économise les besoins métaboliques dans un milieu où la nourriture est rare. Selon des études plus récentes, (Verdu et Destro-Bisol 2012; Migliano et al. 2013) les éléments génétiques (l'hormone/l'insuline de croissance) contrôlant la stature des Pygmées ont subi une pression sélective à travers le temps (même si le gène de la taille corporelle est différent selon la population). Ainsi, la différence génétique est visible et marquée entre les peuples Pygmées et non-Pygmées, comme les Baka et leurs voisins non-Pygmées les Nzimé. Par conséquent, c'est la plasticité phénotypique associée aux facteurs génétiques qui explique cette variation morphologique (Froment 1993; Verdu et Destro-Bisol 2012; Migliano et al. 2013).

Les Pygmées africains du bassin du Congo sont les plus grands groupes de chasseurs-cueilleurs au monde, comprenant pas moins de 250 000 à 350 000 individus. Depuis la fin du 19^{ème} siècle, l'Afrique centrale est composée d'environ 20 populations Pygmées. Malgré leur apparence physique qui les démarque de nombreux peuples, ils partagent des similarités avec les bantous, comme la langue bantoïde soudaniquaise ou oubangienne, l'un des groupes les plus divers linguistiquement (Verdu 2006; Bahuchet 2014). Ces langues appartiennent au phylum Niger-kordofanien, l'un des deux grands phylums centrafricains (figure 1.9).

Table 1.2. Language groups that include the main Pygmy languages in central Africa.

Phylum	Stock	Family	Number
Niger-Kordofanian	Niger-Congo	Adamawa-Ubangian	1
		Bantoid non-Bantu	1
		Northwest Bantu	8
		Central Bantu	5
Nilo-Saharan	Central Sudanic	Mangbetu-Asua	1
		Mangbutu-Efe	1

Figure 1.9 Langue d’Afrique centrale, incluant les Pygmées (Bahuchet 2014, 14)

Au Pléistocène supérieur, il y a 25 000 ans, la dernière grande période glaciaire a pour conséquence la fragmentation de la forêt et la séparation des peuples Pygmées entre les régions de l’est et de l’ouest. C’est probablement cet événement qui a contribué à la différenciation génétique de ces groupes, comme vu dans la section 1.2.2 (Verdu 2006).

Malgré une grande diversité inter-groupe, la majorité des Pygmées actuels sont perçus comme un peuple avec des caractéristiques similaires (ex. petite stature, semi-nomadisme, pratique de la chasse et la collecte) (Froment 1993). Comme ils vivent (le plus souvent) temporairement dans des huttes à proximité de champs, ils ont des échanges fréquents avec leurs voisins agriculteurs. Cependant, il existe de nombreux groupes, avec diverses stratégies de subsistance. Certains habitent en milieu forestier (de la côte atlantique à l’est du Bassin Congo), tels que les Baka (ou Bangombe), les BaAka (appelés aussi Bayaka, Babinga, Bambenga) et les BaMbuti (ou Mbuti) de la forêt Ituri au nord de la R.D.C. Ce dernier groupe se divise en trois groupes ethniques : les Efe, les Asua et les BaSua (ou Sua). Certains groupes sont des Pygmées agriculteurs et cueilleurs, en étroite relation avec les communautés agricoles (de l’ouest à l’est), tels que : les Bakola (ou Bagyeli) qui résident au sud-ouest du Cameroun ; les Babongo (ou Akoa) au centre du Gabon ; les Bakoya (ou Bakola) à la frontière du Gabon-Congo ; les BaTwa (ou Twa) en région équatoriale à l’ouest de la R.D.C. (plus précisément au Burundi et au Rwanda) ; les Bezan qui vivent dans le Tikar au cœur du Cameroun ; et les BaCwa (ou Cwa) dont

plusieurs groupes vivent au sud-est de la savane de la R.D.C. (figure 1.10) (Verdu 2006; Bahuchet 2014; Patin et Quintana-Murci 2018).

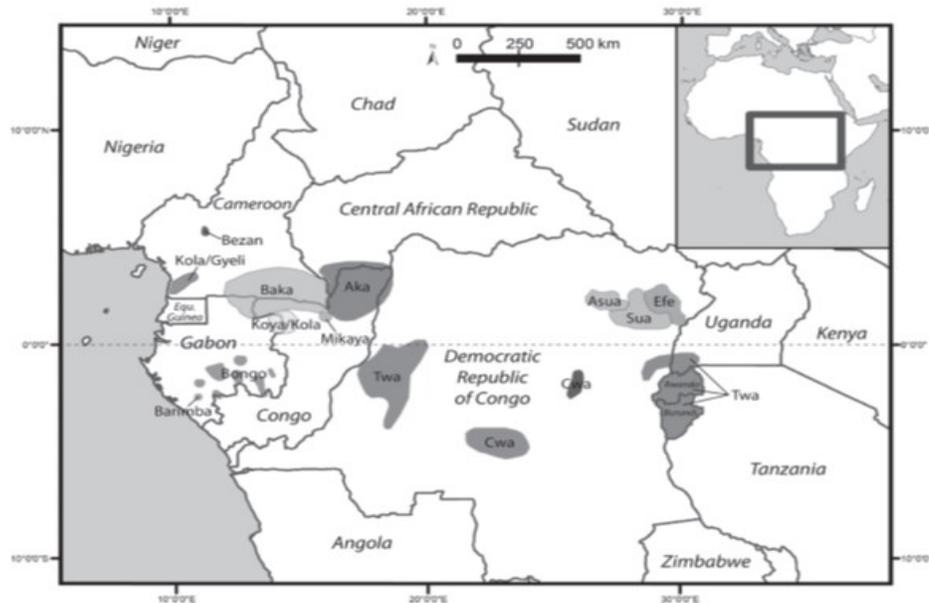


Figure 1.10 Localisation des groupes Pygmées en Afrique centrale (Bahuchet 2014, 5)

Il n'existe pas d'uniformité au sein des Pygmées quant au mode de subsistance, et ce, malgré de nombreux points communs. En effet, bien qu'ils pratiquent tous une chasse collective, ils disposent de plusieurs techniques et d'armes propres à chaque région. Par exemple, la chasse au filet est assez commune, mais les Efe de la R.D.C. chassent avec un arc, alors que les Baka du Cameroun et du Gabon chassent avec des harpons (Bailey et Auger 1989; Dembner 1996). Il y a ainsi une flexibilité dans leurs pratiques selon l'animal chassé : antilope (harpons) ou volatile (arc, flèches). Cependant, la chasse peut aussi être individuelle ou collective et implique des chiens sauvages et/ou des pièges (Hewlett 2014). En outre, les Pygmées sont connus pour collecter différents aliments comme l'igname, les noix, les champignons, les feuilles, les insectes comme des termites et les chenilles. Ce sont aussi des experts dans la collecte du miel. Leur taille, associée à leur légèreté, leur permet de monter sur les grands arbres où se trouvent les ruches. En plus de la chasse et de la collecte, certains groupes sont aussi pêcheurs, comme les Batwa, qui vivent à proximité du lac Tumba au centre du Congo. Les Baka pratiquent aussi

une pêche saisonnière dans des petites rivières (Bahuchet 2014). En fait, la déforestation et leur capacité à tirer parti de ce que leur offre la nature favorisent la croissance d'autres modes de subsistance telle que la pêche.

Tant par le passé qu'actuellement, ces chasseurs-cueilleurs façonnent les ressources végétales qu'ils collectent comme les ignames sauvages. Par exemple, au sud du Cameroun, les groupes Aka et Baka récoltent ces tubercules, mais replantent une partie de ces plantes (Dounias 2001). Ils prennent ainsi part à la production de leur diète tout en modifiant leur environnement forestier. C'est une forme de gestion des ressources végétales sauvages bien avant la domestication des plantes, telle que l'agriculture du manioc, du maïs ou de la banane (Bahuchet et al. 1991; Dounias 2001; De Saulieu et al. 2018). En outre, ils partagent leurs ressources avec les populations agricoles qui peuvent elles aussi chasser et cueillir, mais à petite échelle.

Que ce soit au niveau linguistique, culturel ou économique, les Pygmées échangent avec les agriculteurs. Au cœur des traditions orales des populations agricoles, les habitants de la forêt tropicale sont vus comme des initiateurs du monde forestier, des êtres quasi-surnaturels. Les deux communautés s'entraident pour le travail et l'alimentation. Effectivement, les chasseurs-cueilleurs (les peuples nomades BaMbuti, Efe, BaAka, Baka, puis les sédentaires Bakola et Babongo) offrent les produits collectés dans la forêt (comme la viande et le miel), des traitements médicaux et aident à l'agriculture sur brûlis. Quant aux cultivateurs, ils fournissent des outils en fer, des pots et la culture de leur champ. Cette association permet de mieux exploiter leurs écosystèmes, de la forêt tropicale aux champs, de diviser leurs efforts et leurs dépenses d'énergie, et d'ainsi augmenter leur apport alimentaire (Bahuchet 2014).

1.3.2 Les agriculteurs

« The transition from a human diet based exclusively on wild plants and animals to one involving dependence on domesticated plants and animals beginning 10,000 to 11,000 years ago in Southwest Asia set into motion a series of profound health, lifestyle, social, and economic changes affecting human populations throughout most of the world. » (Larsen et al. 2019,1).

1.3.2.1 L'agriculture centrafricaine

Au 3^{ème} millénaire avant notre ère, l'agriculture s'installe en Afrique centrale. Il y a 2 500 ans, apparaît une culture des bananes au Cameroun ou encore du millet près du bassin Congo (Mindzie et al. 2001; Kahlheber et al. 2014). La domestication des plantes s'accompagne d'un développement de la céramique et d'outils en pierre datés du début de l'âge du fer. Cette période de transformation économique s'accompagne aussi de changements climatiques : la savane s'ouvre sur la forêt, facilitant l'installation des agriculteurs bantous (Cornelissen 2002) qui se répandent dans toute l'Afrique subsaharienne. Les données génétiques, linguistiques et archéologiques soutiennent un modèle où ces populations ont d'abord migré en direction du Sud, puis à l'est de la forêt en passant par le Nord (Coupé et al. 2017; Bostoen 2018). Notamment, l'expansion bantoue est un événement clé pour le sous-continent africain : elle amène la sédentarisation des populations de cultures différentes avec la diffusion non seulement de l'agriculture, mais aussi des technologies de fonte de fer (Roche 1991; Bayon et al. 2012; De Maret 2013; Coupé et al. 2017). Afin d'illustrer ce phénomène, les sites clé de la Vallée de l'Upemba au sud de l'Afrique centrale seront pris comme exemples, ainsi qu'un autre groupe situé au nord-est (ex. Azande).

1.3.2.2 La dépression dans la vallée de l'Upemba, République Démocratique du Congo

La dépression de l'Upemba se situe au sud-est de la province de Katanga en R.D.C. et elle est un lieu clé pour la découverte de six sites funéraires de l'âge du fer (voir figure 1.11) (Nenquin 1963; Hiernaux et al. 1971, 1992; De Maret 1977, 1979, 1982, 1985, 1992, 1999). En pleine savane, sur le court supérieur du fleuve Congo, le Lualaba, se trouve une plaine d'inondation longue de 200 km (Fauville 2018). On y trouve plusieurs lacs et des marais riches en faune marine et vie sauvage. Ces anciens sites archéologiques en bord de rive ont été utilisés alternativement comme villages, champs et cimetières au cours du temps (De Maret 2016).

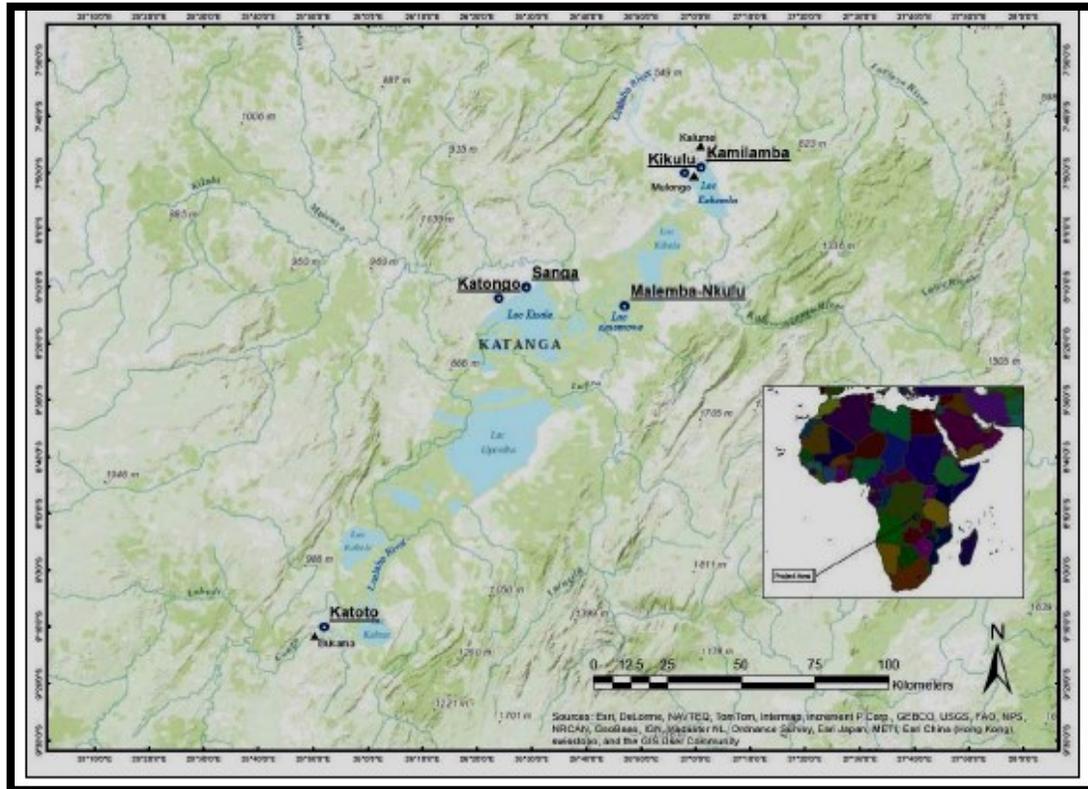


Figure 1.11 Dépression de l’Upemba en R.D.C., avec les six nécropoles fouillées (Dlamini 2014, 11)

La vallée de l’Upemba est jalonnée de nombreuses nécropoles, elles sont les preuves des premières communautés agricoles. En effet, 50 sites archéologiques datant du 7^{ème} au 18^{ème} siècle ont été répertoriés et datés au radiocarbone. Cependant, seuls six ont fait l’objet d’une fouille partielle (Nenquin 1963; Hiernaux et al. 1971, 1992; De Maret et Nsuka 1977 ; De Maret 1977, 1979, 1985, 1992, 1999). Il s’agit des sites de Sanga, Katoto, Malemba-Nkulu, Kamilamba, Katongo et Kikulu (figure 1.11). Ces cimetières rassemblent 317 individus inhumés selon Dlamini (2014) qui les a inclus pour une étude paléo-alimentaire. Au cours des années 1950 et 1970, de grandes campagnes archéologiques ont mis au jour de nombreuses sépultures. Les deux premières campagnes de fouilles, celles de 1957 et 1958, ont été dirigées par Nenquin, Hiernaux, De Longre et De Buyst avec le Musée royal de l’Afrique centrale (Tervuren, Belgique) et l’Université Officielle du Congo à Elisabethville (Nenquin 1963, cité dans Hiernaux et al. 1992). Quant aux secondes campagnes de fouilles, elles ont eu lieu en 1974 et

1975, encore une fois sous la direction du musée de Tervuren et avec l'institut Zaïre (De Maret 1977).

Seuls trois sites (sur six fouillés) sont présentés ici, car ils font partie du matériel étudié dans ce mémoire (ex. Sanga, Malemba-Nkulu et Kikulu).

Sanga et deux autres sites

Le site de Sanga est l'un des premiers sites fouillés et le mieux documenté de l'âge du fer centre-africain. Il a été utilisé du 8^{ème} au 14^{ème} siècle, à proximité du Lac Kisale, dans la vallée de l'Upemba (figure 1.11). En 1957, Jacques Nenquin et Joose De Buyst ont exhumé 56 tombes (de trois traditions céramiques : Kisalien, Mulongo et les « red slip »). L'année suivante, 89 autres tombes sont déterrées par Jean Hiernaux dans l'idée de découvrir des objets de tradition Kisalienne. On découvre ainsi une poterie exclusivement funéraire (Hiernaux et al. 1971; De Maret 1977, 1985).

Les morts étaient inhumés avec du cuivre, du fer, des bijoux, de l'ivoire, des armes, des outils et des restes fauniques. En outre, de nombreuses sépultures d'enfants et de nourrissons prématurés ont été trouvées (De Maret 1977, 1985). D'après Hiernaux et al. (1992), il y aurait eu un village à proximité du cimetière qui pratiquait la chasse, la pêche et l'agriculture, mais sans pastoralisme à cause de la mouche tsé-tsé dans cette zone. L'économie était aussi tournée vers l'artisanat (ex. céramique, métallurgie, ivoire). Les rares biens appartenaient à l'élite, qui avait le monopole du cuivre, dont son extraction était facilitée par la proximité des carrières. La présence de cauris, des coquillages originaires de l'océan Indien utilisés comme monnaie sur le continent africain dès le Kisalien et le Mulongo⁷, souligne les échanges commerciaux avec les côtes. Les fouilles ont aussi révélé des dents mutilées *ante-mortem*, qui suggère l'existence d'une pratique liée à l'esthétique et à l'identité ethnoculturelle du groupe (Handler 1994). En 1974, une autre fouille est organisée. Le musée royal d'Afrique centrale et l'institut Zaïre,

⁷ Selon Nenquin, le Mulongo est l'une des traditions céramiques qui suit la tradition Kisalienne (De Maret 1974, 1977).

mettent au jour 31 tombes, sous la direction de Pierre De Maret (1974). La tombe d'un adulte avait en son sein de riches morceaux de poterie, des croix en cuivre, de nombreux bijoux en cuivre et fer, deux cauris et un pendant en ivoire (De Maret 1977, 1985). Selon De Maret, seule une personne de prestige pouvait posséder tous ces objets dans la vie comme dans la mort.

Récemment, les analyses isotopiques de Dlamini, Sealy et Morris (2016) des sépultures de Sanga (et Katoto) ont permis de compléter les données archéologiques mentionnées, ci-dessus, sur le mode de vie de ses premières communautés agricoles. Cependant, elles ont pu aussi détecter des petites variations dans l'alimentation entre sites (ex. consommation moins élevée de cucurbitacées, légumes et tubercules à Sanga qu'à Katoto).

Deux autres sites sont à mentionner ici. La nécropole de Malemba- Nkulu a été utilisée durant la période Kabambienne du 13^{ème} au 17^{ème} siècle (De Maret 1992; Dlamini 2013). Elle se situe au nord du lac Kolombwe, dans la vallée de l'Upemba (figure 1.11). Une fouille archéologique en 1975 a permis l'exhumation de 23 sépultures. Le site de Kikulu, au nord du lac Kabamba, (figure 1.11) a été utilisé du 8^{ème} au 18^{ème} siècle et a été fouillé en 1975. Ces fouilles ont permis la découverte de 37 tombes (De Maret 1992).

Le royaume Luba

Du 7^{ème} au 18^{ème} siècle, ces nécropoles ont été utilisées par les populations centrafricaines, où plusieurs traditions et cités ont vu le jour. Plusieurs phases chronologiques ont été identifiées dans cette vallée à l'aide des artefacts et des datations aux radiocarbone (De Maret 1977, 1985, 1992). Au fil des siècles, l'évolution des styles de poterie, l'augmentation du nombre des sépultures, la présence de plusieurs armes et bijoux en cuivre et/ou fer, sont des preuves d'une augmentation démographique, ainsi que du rayonnement commercial auprès d'autres groupes. Ainsi, cet espace a été habité par de nombreux groupes, probablement ancestraux aux Lubas actuels (De Maret 1977).

Le Royaume Luba du Katanga, en R.D.C. est l'un des plus grands empires de l'Afrique centrale (De Maret et Smith 2015; Fauvelle 2018; Gordon 2018). Selon la tradition orale et les fouilles archéologiques, particulièrement, celles de Sanga, cette vallée serait le lieu d'origine des Lubas (De Maret 1977, 2016). Le grand empire Luba ou terre Luba se situe en plein milieu de l'Afrique centrale « *on savana just south of the rainforest in the Republic of Zaïre* » (Reefe 1981, 3). Grâce à ces terres rendues fertiles par les crues de rivière annuelles et son importante faune aquatique, les populations ont su s'implanter pendant des siècles dans la vallée (Fauvelle 2018).

Lors de la première tradition appelée *Kamilambien* (7^{ème} - 8^{ème} siècles), la céramique est décorée avec des impressions de peigne. Une hache, une herminette et plusieurs têtes de harpons et des pointes de flèche en fer ont été exhumées dans l'une des sépultures. Dans la période suivante, le Kisalien ancien (8^{ème} -10^{ème} siècles), les artefacts funéraires sont plus nombreux : il s'agit de lames de machettes et de houes, des parures en cuivre et des pointes de lances. Pour les archéologues, les objets les plus intéressants sont les deux grandes haches en fer, dont le manche en bois disparu était orné de clous à tête conique. Ces haches de parade, qu'on peut voir dans la figure 1.12, sont un symbole d'autorité et de pouvoir depuis les 8^{ème} -9^{ème} siècles. Les Kongo, les Kuba, les Luba ou le Rwanda possèdent tous ces objets qui servaient de marteaux aux forgerons. Effectivement, comme dans tous les royaumes de savanes du sud, le fondateur est un forgeron. Pour rappeler cette fonction lors de l'intronisation, deux enclumes sont utilisées. En plus d'une hache, une masse-enclume a été découverte dans le crâne du défunt à Sanga, légitimant ainsi son pouvoir (De Maret 1980, 2016). En conclusion, la présence de ces artefacts souligne le caractère élitiste de certains individus inhumés participant à la vie politique. Ils évoquent ainsi une société hiérarchisée aux prémices du Royaume Luba.

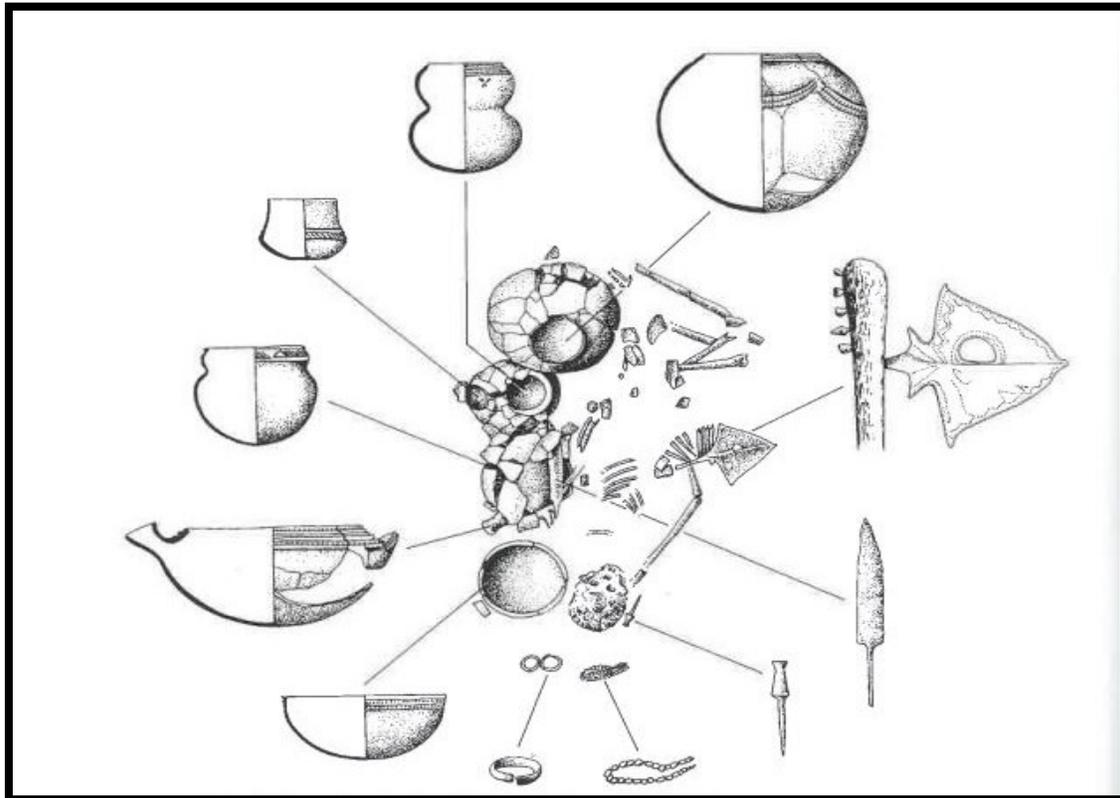


Figure 1.12 Relevé d'une tombe du Kisalien ancien, 8^{ème}-9^{ème} siècles (Fauvelle 2018, 336). À droite de l'individu, on peut voir une hache de parade, avec une lame décorée et des clous. En bas à droite, près du crâne, se trouve une enclume en forme de gros clous. Ces deux objets de pouvoirs étaient encore utilisés il y a peu et sont à l'origine de l'organisation politique des Luba.

Au 10^{ème} siècle, la taille et le nombre de sites sont les preuves d'une importante croissance de la population (De Maret 2016). Ce peuple d'agriculteurs possédait des houes, des meules, des poteries en forme de calebasse et des récipients (figure 1.12). De plus, la découverte de nombreux harpons, de restes de poissons, de braseros trilobés, d'un ustensile pour cuisiner dans une pirogue grâce à la proximité des lacs, montre que la pêche était une activité toute aussi importante. Enfin, l'élevage de chèvres et de volailles, la chasse d'antilopes, d'hippopotames et d'éléphants complétaient leur diète, donc leur mode d'approvisionnement.

Plus qu'un symbole politique et économique, ces objets (figure 1.12) permettent de découvrir l'art Luba. Premièrement, la céramique est nombreuse et riche par sa décoration. En plus, elle a

ici une fonction mortuaire. Puis, les sépultures d'enfants proposent une nouveauté avec des récipients miniatures. Deuxièmement, des ornements tels les cuivres d'hameçons, d'aiguilles, de clous et des petites lames ont été exhumés. Troisièmement, les colliers, ceintures, bracelets et bijoux en ivoires découverts auprès des restes humains sont un exemple de la maîtrise technique de tréfilage. Enfin, les cauris (figure 1.13) découverts dans des tombes féminines attestent d'une relation commerciale hors des frontières (De Maret 2016). En effet, ces derniers servaient de monnaie d'échange dans plusieurs régions d'Afrique (Fauvelle 2018).



Figure 1.13 Cauris (Fauvelle 2018, 337)

Par ailleurs, des poupées ensevelies auprès d'enfants étaient fabriquées avec des os d'antilopes ou de chèvres (De Maret 2016). Leur présence auprès des femmes rappelle le symbole de la fertilité. Tous ces artefacts pour les adultes et les enfants sont un rappel d'une stratification sociale marquée où seuls les riches et les puissants possédaient de tels objets, dans la vie comme dans la mort.

L'abondance des ressources du milieu a permis la croissance de la population. En outre, une pêche importante nécessite un travail collectif, ce qui demandait une organisation sociale et politique, et a par conséquent favorisé l'émergence de ce grand empire (De Maret 2016). Le commerce de longue distance explique aussi cette organisation politique, où tous les pouvoirs

sont tournés vers une élite minoritaire. Par exemple, les individus de la période Kisalienne produisaient du poisson fumé qui était exporté en échange de cuivre et d'autres biens comme le cauris (précédemment cités), des perles ou des produits de première nécessité (sel, huile de palme, miel).

Au Kabambien, à la fin du 13^{ème} siècle, les rites funéraires et les céramiques sont soudainement modifiés, avec entre autres une diminution des biens au sein des sépultures. Néanmoins, la richesse de certaines tombes indique le maintien d'une élite, d'une organisation politique toujours stratifiée. Au même moment, le commerce devient interrégional avec l'apparition de croix de cuivre (figure 1.14), des lingots de cuivre (disparus au 18^e siècle) produits au Congo, qui avait un rôle monétaire (De Maret 2016).



Figure 1.14 Croisettes, croix de cuivre (Fauvelle 2018, 340)

À la même période, le nombre de cauris et de perles en verre se multiplie grâce au commerce de longue distance. Au 16^{ème} siècle, cette région s'accompagne de nouveaux rites funéraires, avec une quasi-absence de biens mortuaires. Les sépultures ne recèlent que quelques récipients recouverts d'un engobe rouge et de petites croisettes. Un siècle après, apparaît une nouvelle céramique et un rituel funéraire proche de ceux des Luba actuels.

Dans les sépultures de la période Luba, les seuls biens découverts sont des bracelets en verre, des bracelets de chevilles et des ceintures (De Maret 2016). C'est pourtant la période de l'émergence de l'État Luba (de la tradition Luba), une vaste entité politique, dont le prestige et la puissance était avant tout symbolique (Reefe 1981). En effet, les emblèmes, les symboles, les mythes et les rituels légitimaient l'autorité de plusieurs chefs, de notables et de sociétés secrètes en lien avec le souverain. Son influence est telle qu'encore aujourd'hui, des populations lointaines s'identifient comme descendants des Luba (Fauvelle 2018).

1.3.2.3 Les Azande, en République Démocratique du Congo

Les Azande vivent en région Uélé (ou Uele), en province orientale au nord-est de la R.D.C. (figure 1.15).

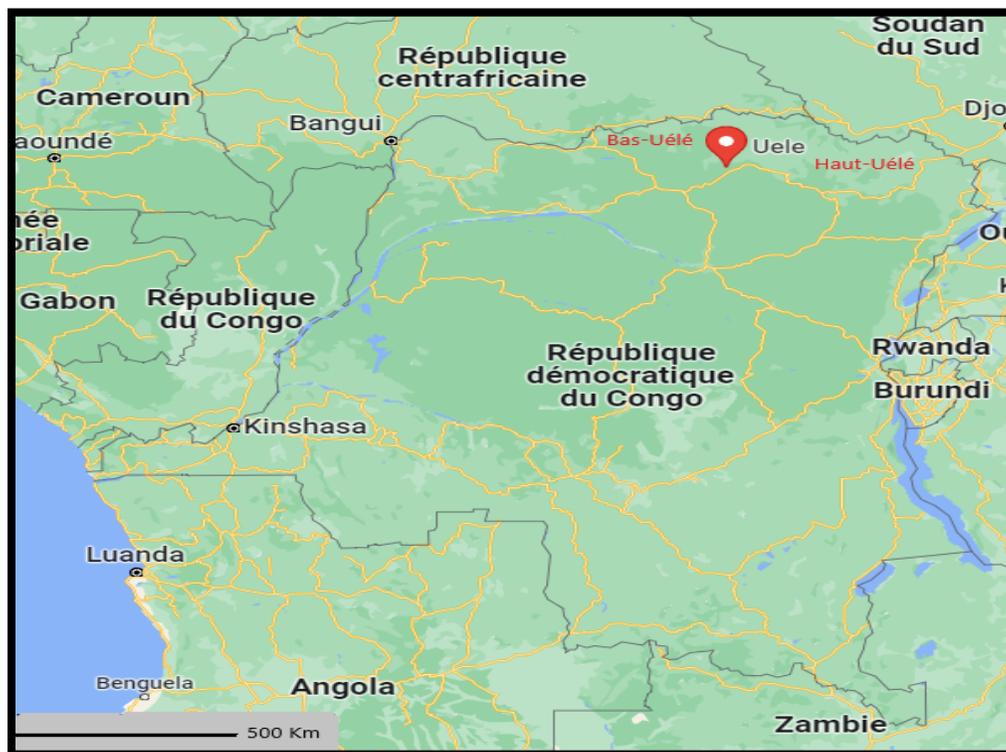


Figure 1.15 Lieu de vie des Azande, en région Uélé, le Bas-Uélé et le Haut-Uélé, au nord-est de la R.D.C. Carte modifiée de Google Maps 2020.

La culture uélienne est la plus ancienne tradition de l’Afrique centrale. Elle est connue pour ses 400 artefacts en hématite datés à l’âge du fer (Akude et al. 2014). Cette région a vécu trois phases migratoires. En premier lieu, elle fut occupée par les Pygmées, Akare, et Momvu. Puis à la fin du 15^{ème} siècle, la première phase d’occupation laisse place aux peuples bantous (deux grands groupes). Enfin, au 18^{ème} siècle, les Azande (ou zande) venus du nord ont refoulé les populations bantoues et s’y sont installés définitivement (Akude et al. 2014).

Le nom Azande désigne les populations établies en région Uélé, au nord de la R.D.C. (Akude et al. 2014). La lettre *a* est la marque du pluriel, *za* signifie quitter et *nde* signifie loin. Ce qui signifie, entre autres, ceux qui viennent d’un pays lointain. L’origine de ce peuple reste floue, néanmoins, on les dit d’origine soudanaise, entre le Lac Tchad et l’Océan Indien. Selon les traditions orales, trois groupes sont apparentés aux familles régnantes Azande : les Avungara, les Abandia et les Anunga. Au second millénaire, ce peuple a migré vers le sud et sur sa route a « zandéifié » les groupes rencontrés : comme les Abile, Bamboy, Ngbwa, Tokpwo et Bambili. En 1860, un ethnologue du nom d’Edward Evan Evans-Pritchard (1978) rencontre les Azande. Ainsi, la majorité des informations connues sur ce peuple viennent de ce scientifique selon Akude et al. (2014). Ce peuple a tout le long de son histoire été marqué par la migration et l’assimilation de différents peuples, dont des peuples d’origine bantoue et soudanaise. Effectivement, les Azande sont des guerriers qui ne connaissent que la victoire, ils ont donc absorbé chaque culture rencontrée (Akude et al. 2014). Ce n’est qu’à l’arrivée des Européens, à la fin du 19^{ème} et au début 20^{ème} siècle, que les migrations ont cessé. Enfin, depuis la colonisation, ce grand empire s’étend sur trois pays : la R.D.C., le Sud-Soudan et la République centrafricaine. À présent, les Azande vivent en majorité dans le Bas-Uélé (Evans-Pritchard 1978; Akude et al. 2014).

Ce peuple est politiquement organisé en chefferie où chaque personne doit allégeance à son chef de clan. Ils existent de nombreuses ethnies rivales dirigées par des princes. C’est d’ailleurs leur manque d’unité, entre autres, qui a facilité la prise du territoire par les Européens. Ils sont majoritairement producteurs (agriculteurs), mais pratiquent la pêche, la chasse, l’élevage, l’artisanat et certains sont des commerçants. Leurs principales cultures vivrières sont le manioc, le riz, les arachides, la banane plantain, le maïs, des haricots, la patate douce, l’igname et des

cultures à fonction commerciale comme le palmier à huile, le café et le coton (Akude et al. 2014).

Après avoir détaillé l'histoire de nos populations à l'étude ainsi que leurs modes de vie passée et actuelle, le second chapitre abordera comment les tissus osseux et leurs propriétés peuvent refléter les activités des groupes humains par leur stratégie économique et leur environnement.

Chapitre 2- La biomécanique : concepts, outils et apports

« L'os est de par son passé biologique un témoin clé des conditions environnementales et de la vie des individus concernés. » (Gourrier et Reiche 2015,13).

2.1 Anatomie et typologie de l'os

L'os est un tissu biologique qui se développe pendant la croissance et évolue tout le long de la vie en fonction des contraintes extérieures (Lefèvre 2015). Le squelette osseux agit comme un objet mécanique dans le système musculo-squelettique. Il protège et soutient les tissus mous et sert à ancrer les muscles, les tendons et les ligaments. Il sert de levier rigide que le muscle utilise pour produire un mouvement. C'est aussi un élément physiologique qui renferme la moelle produisant les cellules sanguines, stocke les graisses, et c'est une réserve d'éléments comme le calcium qui aide à la coagulation du sang et la contraction du muscle. En d'autres mots, le squelette favorise la locomotion, transmet la force musculaire et protège les organes. L'os est ainsi, un tissu et un organe (Briot 2009; White, Black et Folkens 2012; Lefèvre 2015).

L'os s'organise de deux façons : l'os compact et l'os spongieux. Le premier, solide, est un os dense situé dans la diaphyse, à la surface externe de l'os et aux articulations. Il est aussi appelé os cortical. Le deuxième, l'os spongieux est poreux, léger et en forme de nid d'abeilles. Il se situe, entre autres, à proximité du lieu d'attache des tendons, des corps vertébraux, des extrémités des os longs et au sein des os plats. On le nomme aussi os trabéculaire (White, Black et Folkens 2012; Lefèvre 2015).

2.1.1 La structure de l'os long

Il existe plusieurs types d'ossements (ex. os courts, os plats). Parmi eux, les os longs sont divisés en trois parties (figure 2.1) : deux épiphyses aux extrémités et la diaphyse au centre.

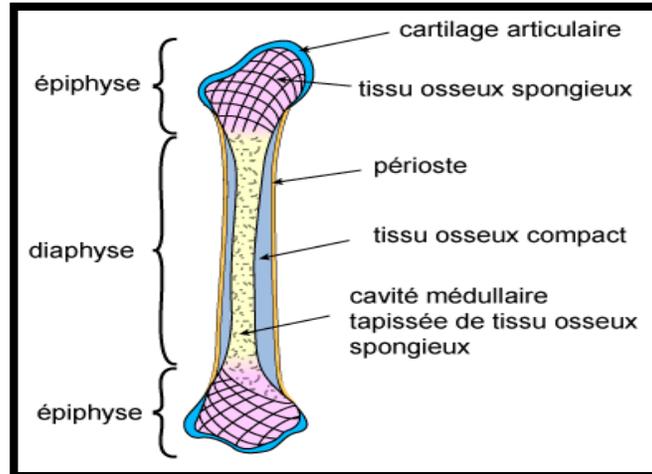


Figure 2.1. Structure de l'os long (univ-lille, sd)

Les épiphyses sont les extrémités (proximale et distale) généralement gonflées d'un os long (Briot 2009). Elles sont liées à la diaphyse : la partie centrale de l'os. Entre les deux, la métaphyse est le segment qui relie chaque extrémité à l'élément central. Chez les juvéniles, la métaphyse se constitue d'un cartilage de conjugaison qui est remplacé par de l'os à la fin de sa croissance laissant derrière une trace, la ligne épiphysaire.

L'os est aussi composé d'enveloppes fibreuses : l'endoste et le périoste qui contient des cellules osseuses, qui se réduisent avec l'âge, mais reste actif à l'âge adulte, stimule le dépôt osseux, entre autres, quand le périoste est attaqué (White, Black et Folkens 2012). Le premier, l'endoste définit les limites internes de l'os, donc le canal (ou cavité) médullaire, qui recouvre l'os compact et borde la moelle osseuse. Le second, le périoste est l'enveloppe externe protectrice de l'élément osseux. C'est une membrane vascularisée qui nourrit l'os et contribue à la croissance (Lefèvre 2015) (figure 2.1). Pendant la croissance, les ostéoblastes (cellules osseuses) du périoste favorisent l'accroissement en épaisseur de l'os par dépôts successifs d'os lamellaires. À l'âge adulte, les cellules du périoste participent au modelage osseux et aux réparations en cas de fracture (Briot 2009).

2.2 La biomécanique osseuse

« Bone—one of the strongest biological materials in existence, particularly in terms of bearing weight (its compressive strength)—is the main supporting tissue of the body » (White, Black et Folkens 2012, 27).

L'os se développe jusqu'à maturation. Les diverses charges ont pour conséquence une réaction et une adaptation de la morphologie osseuse. Effectivement, la déformation physique du tissu entraîne un modelage osseux. L'ajout de tissu osseux se produit dans l'os face aux contraintes mécaniques qui sont causées par une activité physique récurrente (Boucher 2012; Cameron et Pfeiffer 2014). Par exemple, lors d'une course, l'être humain multiplie par cinq sa charge pondérale au niveau des articulations du genou. De ce fait, l'os subit une grande charge mécanique, ce qui entraîne une réponse osseuse, soit une augmentation du tissu osseux, pour rétablir l'équilibre lors de ce stress mécanique (White, Black et Folkens 2012). Ce modelage se passe principalement durant la période juvénile. À l'âge adulte, même si sa forme et sa force générales sont définies, l'os reste plastique.

2.2.1 Théorie de la biomécanique

2.2.1.1 Adaptation fonctionnelle de l'os

Divers concepts sont utilisés pour définir le rôle de l'os face à une charge mécanique. Premièrement, en 1892, un chirurgien orthopédiste allemand du nom de Julius Wolf, formule une loi maintenant appelée *Wolff's Law* (Wolff 1892, cité dans Ruff 2008). Il soutient que l'os est vivant, hautement vascularisé et qu'au cours de la vie celui-ci change de forme pour améliorer la capacité à résister à une charge externe. En d'autres mots, l'os s'ajoute là où il est nécessaire et se résorbe dans le cas contraire (White, Black et Folkens 2012). De nos jours, cette loi a été modifiée, et on l'appelle « adaptation fonctionnelle osseuse », ce qui reprend l'idée sous-jacente que la forme de l'os reflète la fonction (Ruff et al. 2006a, cité dans Ruff 2008; Boucher 2012). En conséquence, les différentes forces exercées sur l'os influencent sa structure (Ruff 2008). Le principe de Roux évoque aussi cette relation. Il se résume ainsi : l'organisme

adapte sa structure à sa nouvelle condition de vie et les cellules osseuses sont capables de réagir à un stress mécanique localisé (Boucher 2012). Ainsi, l'os s'adapte à son environnement durant la vie en répondant aux charges mécaniques (Lefèvre 2015). Il permet alors de reconstruire le comportement d'un individu et d'un groupe.

2.2.1.2 Mécanismes

Le modèle des poutres a été développé par les ingénieurs pour construire des ponts capables de résister à de lourdes charges (Larsen et al. 2019). Les contraintes dues aux charges extérieures peuvent être calculées en fonction des propriétés géométriques transversales du faisceau. Quand le stress atteint un certain point critique, la structure se brise. Ce principe a donc été appliqué au matériel vivant. La diaphyse des os longs a un comportement similaire aux poutres quand elle est chargée mécaniquement (Huiskes 1982, cité dans Ruff 2008). L'objet subit des contraintes, donc une pression ou tension à l'intérieur du matériau. Dans un cadre biologique, si l'os ne supporte pas cette charge, il se brise. L'os est donc le fondement du système musculo-squelettique et doit régulièrement résister aux forces appliquées sur lui telles que la compression, la tension, le cisaillement, la flexion et la torsion (figure 2.2) durant la vie d'un individu.

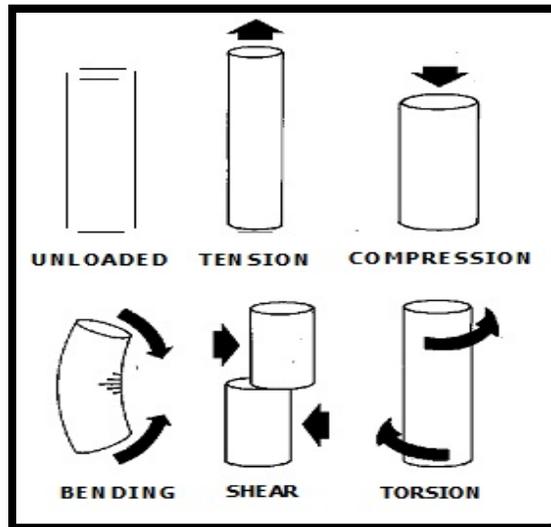


Figure 2.2 Les forces appliquées sur l'os (Boucher 2012). Bending= flexion, donc interaction de 2 contraintes, la tension et la compression qui agissent chacun sur les deux côtés de l'os. Shear= cisaillement

Plusieurs termes sont utilisés pour décrire la réponse biomécanique : la charge, la pression, la tension, la contrainte et la déformation. En premier lieu, la ténacité est la capacité de la résistance à la rupture. La charge provoque une contrainte interne au sein de l'objet (de l'os). Puis, la déformation est la réponse du tissu biologique. L'intensité de la force entraîne la déformation de l'os (Boucher 2012). La charge au sein des membres peut l'affecter de plusieurs manières, il s'agit de la compression, de la tension, de la torsion, de la flexion et du cisaillement (figure 2.2). Les forces de chargement mécanique produisent le plus souvent de la compression et de la flexion. L'augmentation de la charge, associée à la taille corporelle et à l'activité musculaire, cause une déformation et une contrainte dans le tissu osseux, ce qui stimule la déposition de nouveaux tissus osseux qui renforcent l'os et ramènent la contrainte à son niveau d'origine. Elle rétablit l'équilibre. A contrario, la diminution de la tension causée par l'inactivité et la paralysie, conduit à une résorption osseuse qui affaiblit l'os et restaure à un niveau de contraintes plus proche de celui à l'origine (figure 2.3) (Ruff 2008; Boucher 2012). Par conséquent, tous ces mouvements osseux face aux charges permettent à l'os de résister à la rupture, c'est donc une adaptation fonctionnelle de l'os (Ruff 2008). Ainsi, c'est la plasticité et l'élasticité qui permettent de résister aux forces de flexion, de traction et de cisaillement (Briot 2009). C'est

avec ces modèles et concepts que les études sur la robustesse ont été réalisées (Lieberman et al. 2004; Pearson et Lieberman 2004).

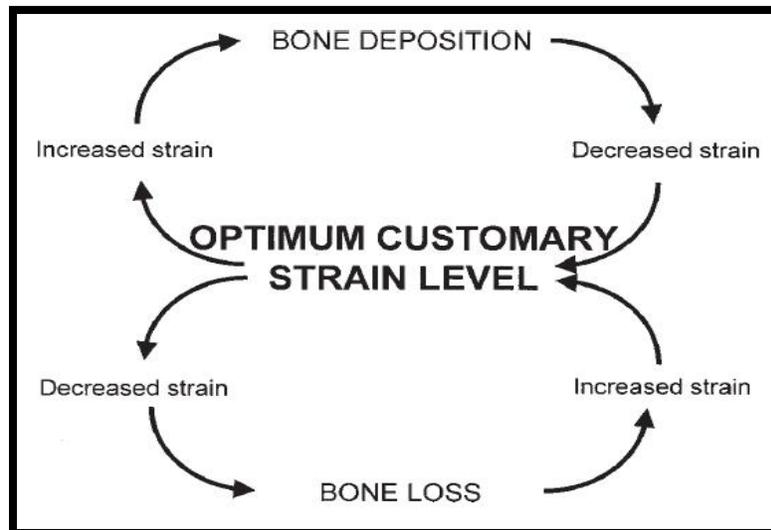


Figure 2.3. Modèle simple de l'adaptation fonctionnelle de l'os (Lanyon 1982 dans Ruff 2008)

2.3 La robustesse

2.3.1 Concept et définition

Un os ayant subi de grandes charges est plus gros et aura plus de tissu osseux, et est alors plus robuste. Cette déposition différentielle du tissu osseux a lieu principalement pendant la croissance, la morphologie adulte reflétant ainsi les comportements ayant eu lieu pendant la période juvénile.

Le principe de robustesse osseuse est analysé à l'aide des propriétés géométriques. Il permet alors l'étude du comportement des sociétés passées.

« Cross-sectional geometric properties are presumed to reflect the strength and shape of the long bone. These properties develop during life and are influenced by the intensity and frequency of physical activities undertaken. Consequently, they reflect the habitual activities and biomechanical patterns of an individual. » (Cameron et Pfeiffer 2014, 2).

2.3.2 Les facteurs affectant la rigidité osseuse

Les contraintes mécaniques, ainsi que les facteurs systémiques comme l'âge, le sexe, la génétique, les hormones, ainsi que le régime alimentaire lié à la stratégie de subsistance et les maladies sont des facteurs qui affectent la déposition osseuse (Ruff 2008; Vance et al. 2010; Watson 2018).

2.3.2.1 La lignée humaine: le temps

« It has long been recognized that early humans tend to look more skeletally robust than living humans » (Boule 1911, Weidenreich 1941, cité dans Ruff 2008, 189). En effet, les sociétés actuelles sont moins robustes que les humains préhistoriques. Il y a eu un déclin de la résistance et de la force osseuse à l'Holocène (Mummert et al. 2011). Les progrès technologiques et la sédentarisation ont protégé le corps des exigences physiques (Ruff et al. 1993; Ruff 2005), diminuant ainsi les charges mécaniques exercées sur le corps, ce qui aurait déclenché une gracilisation du squelette humain. Ainsi, la réduction osseuse serait due à une diminution des activités physiques et de la force musculaire, donc d'un amoindrissement de l'intensité des charges mécaniques sur le squelette des populations récentes.

2.3.2.2 L'effet de l'âge

Tel que mentionné plus haut, la déposition osseuse se fait principalement pendant l'ontogénie. Chez les adultes, l'os perd sa densité et s'amincit avec l'âge. En raison de cette perte osseuse, la cavité médullaire s'agrandit et l'aire corticale s'amincit. Pour maintenir la force osseuse, les cellules du périoste produisent alors du matériel osseux (apposition du périoste) chez les personnes âgées (Ruff 2008; Briot 2009; Vance et al. 2010; Field et al. 2016). L'os répond au stress principalement pendant l'enfance et l'adolescence, ce qui explique la dimension diaphysaire, donc la réflexion des charges portées pendant la croissance (Stock 2006). L'étude de la mécanique permet de déterminer le comportement des sociétés humaines passées lors de la croissance des individus, car plusieurs fonctions sociales sont apprises pendant la croissance.

2.3.2.3 Dimorphisme sexuel

Les différences morphologiques entre le squelette des femmes et des hommes sont causées, en partie, par les charges mécaniques. Dans les sociétés de chasseurs-cueilleurs, la division sexuelle du travail peut avoir différents effets (Ruff 2008). Par exemple, les chasseurs-cueilleurs nord-américains (Wescott 2006) et ceux du Paléolithique supérieur (Larsen et Ruff 2011) montrent que la rigidité en flexion (I_x et I_y) des mi-diaphyses fémorales est beaucoup plus grande chez les hommes, plus mobiles, que chez les femmes. Pour ces sociétés, les hommes parcouraient de grandes distances, sollicitant ainsi leurs membres inférieurs. De leur côté, les femmes, cueillaient des aliments à proximité du camp, ainsi leurs déplacements étaient plus courts. Par conséquent, la robustesse des fémurs des hommes doit être plus importante que celle des femmes.

D'autres facteurs comme la stratégie de subsistance et l'environnement (ex. le terrain) affectent la robustesse humaine.

2.3.3 Études de la robustesse

Le modelage est le résultat d'altération des charges mécaniques et la modification du mode de vie, donc d'un changement de l'activité physique habituelle, telle l'adoption de l'agriculture qui affecte les propriétés mécaniques des os (Ogilvie 2000). En d'autres mots, « Increasing long bone robusticity has been interpreted as a result of greater repetitive activity patterns associated with growing and harvesting crop » (Mummert et al. 2011, 296). En outre, l'environnement, soit la topographie est aussi un facteur à prendre en compte pour les changements de la robustesse osseuse.

2.3.3.1 La stratégie de subsistance

Le mode de vie qui implique un comportement quotidien affecte le corps humain. On peut alors reconstituer le comportement culturel de ces groupes. Les communautés de chasseurs-cueilleurs sont connues pour leurs grandes mobilités, alors que les agriculteurs sont plus sédentaires.

La mobilité terrestre et marine des chasseurs-cueilleurs affecte la robustesse des membres supérieurs et inférieurs selon l'activité de subsistance privilégiée. La mobilité marine favorise une grande robustesse des membres supérieurs et la mobilité terrestre favorise la robustesse des membres inférieurs. Certaines populations de l'Holocène, comme les Inuits Saldermiut, de la baie d'Hudson au Canada et les Yagans, de la Tierra Del Fuego entre le Chili et l'Argentine (Durruty et al. 2017) possédaient une grande mobilité terrestre qui a favorisé une rigidité diaphysaire des membres inférieurs, et *a contrario* les agriculteurs nubien, en Afrique de l'Est et les pêcheurs de l'île Andaman, au sud-est de l'Asie, tous deux sédentaires, ont une plus faible rigidité des membres inférieurs (Davies et Stock 2014). Ainsi, les populations agricoles qui sont moins mobiles ont les membres inférieurs moins robustes que les populations plus mobiles (décrites ici). La mobilité terrestre agit sur le fémur et le tibia, tandis que la mobilité marine résulte de déplacements terrestres moins fréquents et ardues pour les membres inférieurs (Stock et Pfeiffer 2001; Knobbe 2010). Weiss (2003) suggère qu'une utilisation fréquente des embarcations marines influence la robustesse des membres supérieurs des populations à mobilité marine. De ce fait, la pratique du canoë et la natation sont les causes de la grande force osseuse des membres supérieurs (Stock 2006). Autre exemple, la robustesse humérale comparée entre deux peuples marins, les pêcheurs Jomons au Japon et les Inuits de Point Hope en Alaska, (Knobbe 2010) révèlent une plus grande robustesse chez les Jomons que chez les Inuits, les premiers ayant une plus grande mobilité marine que ces derniers. En outre, les activités comme ramer et le lancer de filet lors de la pêche exercent des contraintes de cisaillement plus élevées, et ce dans toutes les directions, rendant l'os des individus Jomons plus circulaire par rapport à ceux des Inuits et des habitants des îles Andaman. Selon Crèvecoeur et al. (2016), les tibias et les humérus des chasseurs-cueilleurs d'Ishango possédaient une robustesse plus proche de celles des Andamanais que des nageurs anglais de l'Université de Cambridge (données de Shaw et Stock 2013). Ils avaient aussi une morphologie plus proche des sociétés post-industrielles, donc moins circulaires. De ces cas, l'activité physique agit ainsi non seulement sur la force osseuse, mais aussi sur la forme de l'os. Lorsque Stock (2006) compare les propriétés géométriques des individus chasseurs du LSA (Late Stone Age) aux chasseurs-cueilleurs Yagans de l'Holocène en Amérique Latine, il constate que ces derniers ont des membres supérieurs plus robustes, dus à leur activité marine, que ceux du LSA. De la même façon, cette étude (Stock 2006) soutient

que les chasseurs-cueilleurs du LSA en Afrique du Sud ont des membres inférieurs plus robustes que ceux des habitants des îles Andaman et inversement pour les membres supérieurs face à la mobilité marine de ces derniers. En conséquence, la recherche alimentaire sur terre (sur une longue distance) et le milieu marin justifient la grande valeur des propriétés géométriques des membres inférieurs, surtout à la mi-diaphyse du tibia, et supérieurs. Lorsque les valeurs des propriétés physiques de ces membres diminuent, il s'agit de populations subissant moins de contraintes selon l'activité exercée. Nos communautés chasseuses, très actives physiquement, supportent fréquemment des charges mécaniques qui modifient leur structure osseuse. En outre, les communautés agricoles semblent aussi impactées dans la morphologie osseuse par leur mode de vie.

La domestication des plantes par les populations agricoles s'accompagne d'une sédentarisation des sociétés humaines. Ces dernières sont moins mobiles, elles privilégient une utilisation des membres supérieurs au détriment des membres inférieurs. La transition du mode chasseurs-cueilleurs vers l'agriculture (Larsen et Ruff 2011; Ogilvie et Hilton 2011; Pinhasi et Stock 2011; Campbell 2018) souligne une relation entre l'activité physique et la morphologie. Par exemple, l'introduction du maïs a pour conséquence une modification des techniques de subsistance. Ces populations ne subsistent plus seulement par la collecte et la chasse, elles produisent leurs ressources alimentaires. Ainsi, malgré l'effort demandé, la production du maïs est réalisée moins souvent ce qui diminue la fréquence des charges mécaniques sur le corps. Par conséquent, le rôle des femmes qui consiste à préparer les plats dans les sociétés préhistoriques nord-américaines s'en trouve facilité. En plus, les innovations technologiques comme le trempage et la cuisson des aliments favorisent une conservation plus longue des ressources alimentaires. Cela allège la charge de travail quotidienne et amoindrit la robustesse humérale (Larsen et Ruff 2011), mais pour d'autres communautés le broyage des grains rend les humérus plus forts (Ogilvie et Hilton 2011). En effet, l'adoption de l'agriculture du maïs par les individus du nord de l'Alabama, du Nouveau-Mexique, de la basse vallée de la rivière Illinois et de Georgia Bight dans l'état de Géorgie, au sud-est des États-Unis, renforce la robustesse des membres supérieurs en raison du broyage des grains de maïs. Par conséquent, l'activité physique répétée affecte la résistance osseuse des humérus. À l'opposé, à la fin du paléolithique, l'apparition de l'agriculture dans la vallée du Nil entraîne la diminution de la robustesse des humérus par

rapport aux chasseurs-cueilleurs ; c'est la preuve d'un déclin des charges mécaniques courantes (Mummert et al. 2011; Pinhasi et Stock 2011). En Europe, l'adoption de l'agriculture (Ruff et al. 2015) serait la cause de la diminution de la robustesse, plus particulièrement le déclin des forces de flexion antéro-postérieure (AP) des membres inférieurs. De la même façon, la diminution de la force osseuse des fémurs de Georgia Bight (Pinhasi et Stock 2011) atteste de la diminution de la mobilité des sociétés agricoles, donc d'une réduction des activités physiques des membres inférieurs qui affectent la structure osseuse. La transition vers un nouveau mode de vie s'accompagne alors d'une modification des structures osseuses, mais de façon variable selon les régions.

Néanmoins, d'autres éléments sont à prendre en compte pour comprendre la robustesse de ces populations (Davies et Stock 2014).

2.3.3.2 L'environnement : le terrain

Le terrain où réside une population agit non seulement sur la structure physique, mais aussi sur sa structure sociale (Ruff 2008). En d'autres mots, les groupes humains appliquent un modèle de comportement en réponse à un environnement donné qui se reflète sur la morphologie.

L'environnement et l'objet utilisé pendant l'activité physique déterminent le type et l'intensité des activités qui agissent sur le corps. Selon Cameron et Pfeiffer (2014), en Afrique du Sud (au Sud-ouest du Cap, *LSA*), la pratique de la chasse à la lance en forêt et à l'arc (léger) dans le fynbos (une formation végétale typique de l'Afrique du Sud située près des côtes) expose une asymétrie bilatérale des membres supérieurs, changeante selon le milieu. L'environnement peut alors influencer les choix d'activités pour se procurer les ressources alimentaires nécessaires. Par exemple, la pratique d'un sport nautique (Weiss 2001, cité dans Boucher 2012) suggère que dans un courant fort, l'effort pour ramer est plus important qu'en eau calme, ce qui rend les membres supérieurs comme l'humérus plus robuste (Stock et Pfeiffer 2001; Weiss 2001, 2003). Toujours selon Cameron et Pfeiffer (2014), les membres supérieurs des habitants de la basse vallée « Orange river » à l'intérieur des terres en Afrique du Sud sont plus robustes que ceux des habitants des côtes et de la forêt, car les charges sur leurs diaphyses sont plus importantes.

Les habitants de la basse vallée collectaient les ressources pour les autres groupes, ainsi l'intensification de cette activité expliquerait la grande rigidité des membres supérieurs. Une autre étude de Cameron et al. (2018) sur les Sud-Africains au *LSA*, révèle que les humérus des femmes sont plus forts quand elles vivent dans le désert Namib (hyper aride) et au centre du pays (semi-aride) par rapport à celles de la côte. Face aux rudes conditions environnementales et à la diminution de ressources de qualité, les femmes ont dû collecter et transformer les aliments de manière fréquente et intense pour compenser. Les bâtons de creusement et les meules utilisés pour récolter et transformer les ressources, des différents sols dans cette région sud-africaine, ont modifié la morphologie des humérus. En d'autres mots, le sol rocheux à l'intérieur des terres sollicite plus les membres osseux que le sable et le limon de la côte du Cap d'où la variation des forces osseuses. Les femmes utilisaient aussi des meules dans le désert du Namib et à l'intérieur des terres pour broyer les aliments de façon plus intensive, ce qui donnait une plus grande charge à l'avant-bras. Face à un comportement similaire et à une utilisation similaire des outils, c'est ici le contexte environnemental qui explique la différence dans la force des membres supérieurs.

Pour les membres inférieurs, les Sud-Africains du *LSA*, vivants dans différents biomes comme la forêt, le fynbos (sur la côte) et dans la vallée, partagent pourtant une même robustesse. En effet, les habitants des terres (vallée) et des côtes ont une robustesse fémorale et tibiale similaire. Les grandes distances parcourues pour ces deux milieux peuvent expliquer que la robustesse soit voisine de celle du milieu forestier, qui par son terrain rempli d'obstacle affecte la robustesse des membres inférieurs, puisque d'autres études suggèrent que le terrain affecte la morphologie fémorale (Boucher 2012). Par exemple, quand l'espace de vie est accidenté, comme en région montagneuse, de grandes charges s'appliquent sur les membres inférieurs. À l'inverse, dans un environnement plat comme sur la côte ou les plaines, le terrain est moins accidenté, les charges mécaniques affectant les membres inférieurs sont moins importantes (Ruff 1999, Holt 2003, cité dans Ruff 2008; Boucher 2012).

De fait, l'environnement et l'exercice, soit l'activité physique pratiquée affectent la robustesse des groupes humains.

Ces exemples illustrent ainsi, comment au cours du temps un nouveau mode de subsistance amène différents changements de comportements selon les conditions socio-écologiques des différentes régions. Un nouveau mode de vie amène un défi nutritionnel et cause parfois des problèmes de santé et une diminution de l'activité physique résultant en un déclin de la résistance osseuse.

En conséquence, à travers le monde, on assiste aux prémices d'un nouveau mode de vie (ex. société agricole, société industrielle avec l'hyper-sédentarisation compensée par des activités sportives) qui se reflète sur la morphologie de l'os et sur l'organisation sociale des groupes humains. Par conséquent, les groupes nomades qui ont laissé place à des peuples beaucoup moins mobiles et à l'implantation d'un nouveau moyen de subsistance ont vécu des changements sociaux, environnementaux, biologiques et morphologiques.

Dans le cadre de ce mémoire, nous soulignons que l'activité et l'environnement sont en effet des éléments propres à impacter la robustesse humaine, mais avec des populations dont les adaptations mécaniques n'ont jamais été étudiées : les populations centrafricaines. Ce mémoire pose donc la question suivante : est-ce que la transition chasseurs-cueilleurs/agriculteurs est caractérisée par une mobilité et donc une robustesse réduite ?

Les deux hypothèses suivantes seront testées :

- Comme l'activité physique, voire **économique** répétée influence la morphologie, les chasseurs, étant très mobiles, seront plus robustes au niveau des membres inférieurs ; tandis que les agriculteurs, qui cultivent la terre auront des membres supérieurs plus robustes.
- L'environnement, soit la **topographie** du terrain sera évoquée, car cette dernière peut influencer la stratégie de subsistance et l'intensité de la mobilité. Ainsi, ceux vivant dans un milieu accidenté auront des membres supérieurs et inférieurs plus robustes par rapport à ceux vivant en milieu plus plat.

Chapitre 3- Matériels et Méthodes

3.1 Matériels

3.1.1 Les collections à l'étude

Les populations étudiées (ex. Ishango, Shum Laka, Upemba, Azande, Mbuti), détaillées dans le tableau A1.1 de l'annexe 1, proviennent pour la majeure partie de fouilles archéologiques réalisées au 20^{ème} siècle, en Afrique centrale (figure 3.1). Elles proviennent de deux institutions bruxelloises : l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRSNB) et l'Université Libre de Bruxelles (ULB).



Figure 3.1 Les populations centrafricaines étudiées. Carte modifiée de Google Maps 2020. 1-Ishango, R.D.C. 2-Shum Laka, Cameroun 3- Vallée d'Upemba, R.D.C. 4-Azande, R.D.C. 5-Mbuti, R.D.C.

Ishango, Shum Laka et l'Upemba sont des sites où des populations archéologiques ont été découvertes, mais nous incluons les individus de l'Upemba dans les populations récentes, comme les Azande et les Mbuti.

3.1.2 Échantillonnage

Parmi ces collections archéologiques, 43 adultes, âgés de 18 à 75 ans, soit 19 femmes, 12 hommes et 12 individus de sexe indéterminé, proviennent de nos différentes populations répertoriées (Annexe 1. Tableau A1.1). Un total de 47 humérus, 40 radius, 40 ulnas, 57 fémurs, 33 tibias et 33 fibulas ont été sélectionnés pour notre étude (tableau 3.1).

Tableau 3.1 Liste des membres supérieurs et inférieurs des chasseurs-cueilleurs et agriculteurs à l'étude. Gauche (G), Tombe (T)

Individu	Humérus	Radius	Ulnas	Fémurs	Tibias	Fibulas
Chasseurs-cueilleurs						
Ishango, République Démocratique du Congo (R.D.C.)						
11A	Gauche	Droit	Gauche		Droit	
13 VII 1984	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G		Droit/G
Shum Laka, Cameroun						
D	Droit/G	Droit/ G	Droit/ G	Droit/G		Droit/ G
SEIII	Droit /G	Droit/ G	Droit/ G	Droit/G		Gauche
SEIV	Droit/G	Droit	Droit/G	Droit/G		Droit/G
Mbuti, R.D.C.						
AF55207	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G
AF56208	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G
AF54212	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G
AF57213	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G
Agriculteurs						
Sanga, Upemba, R.D.C.						
T1				Droit/G		
T7	Droit/G	Droit	Droit/G	Droit/G		
T8			Droit	Droit	Droit	
T10	Droit	Droit/ G		Droit/G	Droit/G	
T11	Droit			Droit/G		Droit/G
T13	Droit/G	Droit	Gauche	Droit/G	Gauche	
T15.1				Droit		

T15.2	Droit			Droit/G		
T15.3				Gauche		
T18	Gauche	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Gauche	Gauche
T20					Droit	
T21	Droit/G	Gauche	Droit/G	Gauche	Droit/G	Droit/G
T22				Droit		
T30		Gauche	Droit			Droit/G
T44	Droit/G					Droit/G
T47	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit/G	Droit	Droit/G
T55				Droit/G	Gauche	
T76	Droit/G					
T129	Gauche					
Malemba-Nkulu, Upemba, R.D.C.						
T1	Droit/G	Gauche	Droit	Gauche		Gauche
T19		Gauche	Gauche	Gauche	Gauche	
T35A2	Droit			Droit	Droit	
T35B1	Gauche	Gauche	Gauche			Gauche
Kikulu, Upemba, R.D.C.						
T1	Droit	Gauche	Gauche	Gauche	Droit	Droit/G
T4	Droit/G			Droit/G	Droit/G	
T7	Gauche	Gauche	Gauche	Droit/G	Droit/G	Droit
T9/10	Gauche	Gauche	Gauche	Droit/G	Droit/G	
T14	Gauche	Gauche	Gauche			Gauche
T15		Gauche	Gauche			
T17	Gauche	Droit/G	Gauche	Droit/G	Droit/G	
T19	Droit/G	Droit/G	Droit	Droit/G	Droit/G	Droit
T20					Droit	
Azande, R.D.C.						
AF5835		Droit/G	Droit/G	Droit/G		
AF5939				Droit/G		
Total des os étudiés	N=47	N=40	N=40	N=57	N=33	N=33

3.1.2.1 Ishango

Deux individus adultes du *LSA* ont été sélectionnés et identifiés comme Ishango 11 individu A et Ishango 13 VII 1984 (Annexe 1. Tableau A1.1). Le premier est un individu non identifié dont les quatre os longs ont fait l'objet d'un rapport ostéologique conservé à l'IRSNB. Le second est un squelette quasi-complet, fragmenté, d'un homme d'une quarantaine d'années (tableau 3.1).

3.1.2.2 Shum Laka

Parmi les 18 individus découverts dans l'abri-sous-roche de Shum Laka, les individus des ensembles funéraires 3 et 6 ont été retenus pour cette analyse⁸. Il s'agit de deux femmes adultes, inhumées dans l'unité 6 (période récente : 3,370-3,030 calBP) et d'un plus jeune adulte de sexe indéterminé, dans l'unité 3 (période ancienne : 7,882-7,635 calBP) (Annexe 1. Tableau A1.1) (Ribot, Orban et De Maret 2001; Lipson et al. 2020).



Figure 3.2 Membre de l'individu D de l'unité 3 à Shum Laka

Selon le rapport de fouille, l'individu D de l'ensemble funéraire 3 (figure 3.2) a été inhumé dans la première phase funéraire, selon la datation au carbone 14, il y a $6\ 870 \pm 80$ BP. Seuls les os longs fragmentés aux épiphyses de ce jeune de 18 ans nous sont parvenus. L'inhumation secondaire explique le manque de connexion anatomique et l'absence du reste du corps (Ribot, Orban et De Maret 2001). Deux femmes adultes, SEIII et SEIV, la première plus jeune que la seconde, ont été exhumées lors de la deuxième campagne de fouilles, dans l'ensemble funéraire 6. À la différence de l'individu D, les connexions anatomiques ont été maintenues grâce à une

⁸ Parmi ces individus, les squelettes des adultes (des unités 1,8 et 9) et des enfants (des unités 4 et 5) n'étaient pas présents aux musées et dans le cas contraire, ils étaient fragmentés. En outre, ceux des enfants (des unités 2 et 7) entreposés aux musées n'ont pas été utilisés. De fait, seuls les os d'adultes (disponibles) ont été sélectionnés, car la morphologie adulte reflète le comportement de la période juvénile (Ruff 2008). Ainsi, observer les os d'adultes permet de comprendre le comportement de ces populations.

inhumation primaire (double). Malgré le caractère quasi-complet du corps des deux femmes, leurs membres osseux et les os coxaux sont friables et endommagés. La présence des corps vertébraux de SEIII a permis grâce au carbone 14 de dater l'individu, précisément à $3\,300 \pm 90$ 9 BP (Ribot, Orban et De Maret 2001) (tableau 3.1).

3.1.2.3 Les Mbuti

Les chasseurs-cueilleurs originaires de la forêt tropicale de l'Ituri¹⁰, en région Irumu au nord de la R.D.C., sont appelés BaMbuti ou Mbuti. Selon Patin et Quintana-Murci (2018), les adultes les plus petits mesurent moins de 1,55 m en moyenne.

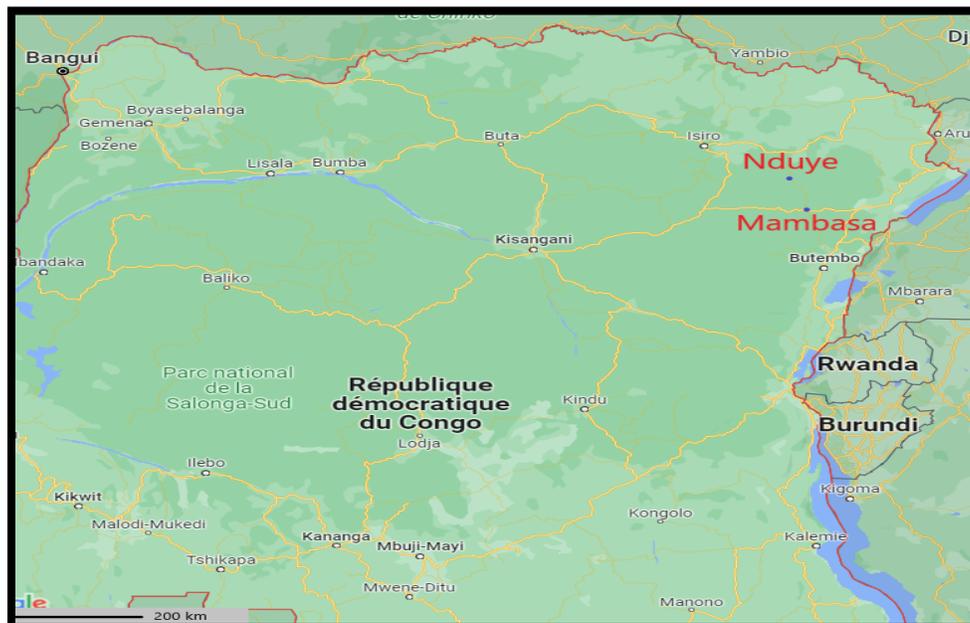


Figure 3.3 Les deux aires d'exhumation des 4 BaMbuti, au nord-est de la R.D.C. à proximité de la réserve de faune à Okapis (à gauche des sites sur la carte). Carte modifiée de Google Maps 2021. Nduye est le lieu de repos des deux Efe et Mambasa celui de des deux autres individus.

⁹ Même si les deux individus (femmes) viennent de la période récente et pratique l'horticulture, ce qui n'est pas le cas de l'individu de la période préagricole, plus ancienne, tous pratiquent la chasse et la cueillette. De ce fait, tous ont été inclus dans l'analyse.

¹⁰ Sur un terrain de 900 à 2000 m d'altitude (Mande et al. 2021)

Quatre individus ont été découverts en 1934-1935 par le Professeur P.P. Schebesta et J. Jadin pour le Musée du Congo de Tervuren, en Belgique. Selon les professeurs J. Matiegka et J. Maly (1938), un homme (pygmée 207) d'environ quarante ans a été découvert près de la route « Mambassa-Irun ». Il a été exhumé en même temps qu'une femme d'une cinquantaine d'années (pygmée 208) venant des environs de Mambassa (ou Mambasa) (figure 3.3). Deux autres individus ont été exhumés, un homme et une femme (pygmée 212 et 213) Efe, près la rivière Nduye (Matiegka et Maly 1938; figure 3.3).

Malgré la présence de squelettes quasi-complets, un chasseur-cueilleur (207) a été découvert sans crâne. Le deuxième (212) possède des os longs fragmentés aux extrémités, un dommage causé par des termites. La femme découverte à Nduye (213) souffrait d'arthrite comme en témoignent les ostéophytes présents sur les vertèbres lombaires et sur l'articulation sternoclaviculaire. Enfin, la deuxième femme (208) souffrait elle aussi d'arthrite sur la colonne vertébrale, à l'épaule gauche et aux deux coudes (Matiegka et Maly 1938). Nous avons donc quatre individus Pygmées, dont deux femmes et deux hommes, pour la région Irumu et âgés de plus de 40 ans, appartenant au peuple des Mbuti au nord-est de la R.D.C. (Annexe 1. Tableau A1.1; tableau 3.1).

3.1.2.4 La dépression de l'Upemba

Actuellement, les restes humains de Sanga se trouvent à l'IRScNB et à l'ULB (Annexe 1. Tableau A1.1; tableau 3.1). Quant aux restes humains de Malemba-Nkulu et Kikulu, ils sont entreposés à l'ULB. Parmi les 17 tombes évoquées du site de Sanga, 19 adultes ont été étudiés. Parmi eux, on recense cinq femmes, cinq hommes et neuf indéterminés. Ensuite, à Malemba-Nkulu, quatre individus, dont deux issus d'une inhumation double, ont été étudiés ici. Parmi ces individus, les os longs de deux femmes et deux hommes ont été analysés. Pour finir, à Kikulu, neuf adultes parmi lesquels six femmes et un homme font partie de l'échantillon.

3.1.2.5 Les Azande

La dernière population de l'échantillon sous étude correspond au peuple Azande au nord de la R.D.C. (Annexe 1. Tableau A1.1; tableau 3.1). Un homme et une femme adultes âgés d'une quarantaine d'années et datant du 19^{ème}-20^{ème} siècles de la région Uélé, ont été inclus dans l'échantillon.

3.2. Méthodes

3.2.1. Détermination du sexe et de l'âge

À partir des sources écrites ; la période, le lieu de vie, l'âge au décès et le sexe des individus étudiés ont été compilés (Ribot, Orban et De Maret 2001; Dlamini 2013, 2014). Néanmoins, quelques observations visuelles et des mesures métriques ont été réalisées pour déterminer l'âge et le sexe (encore inconnu) des individus de SGA, MAK, KUL, des Azande et l'âge des Pygmées 212 et 213.

3.2.1.1 Observations visuelles

Suivant la méthode de Buikstra et Ubelaker (1994), la détermination du sexe a été appliquée sur le crâne en évaluant la robustesse (Annexe 2. Tableau A2.1; figures 3.4 et 3.5). La crête nucale, la taille du processus mastoïde, le bord supérieur de l'orbite, la forme de la glabellle et celle du menton sont les caractéristiques morphologiques utilisées pour définir le sexe du crâne. Les traits sont plus prononcés pour un homme et inversement pour une femme. Le degré d'expression, de 1 à 5, permet de classer la variation morphologique d'un trait physique : les femmes sont généralement plus proches de 1 tandis que les hommes sont plus proches de 5 (Annexe 2. Tableau A2.2).

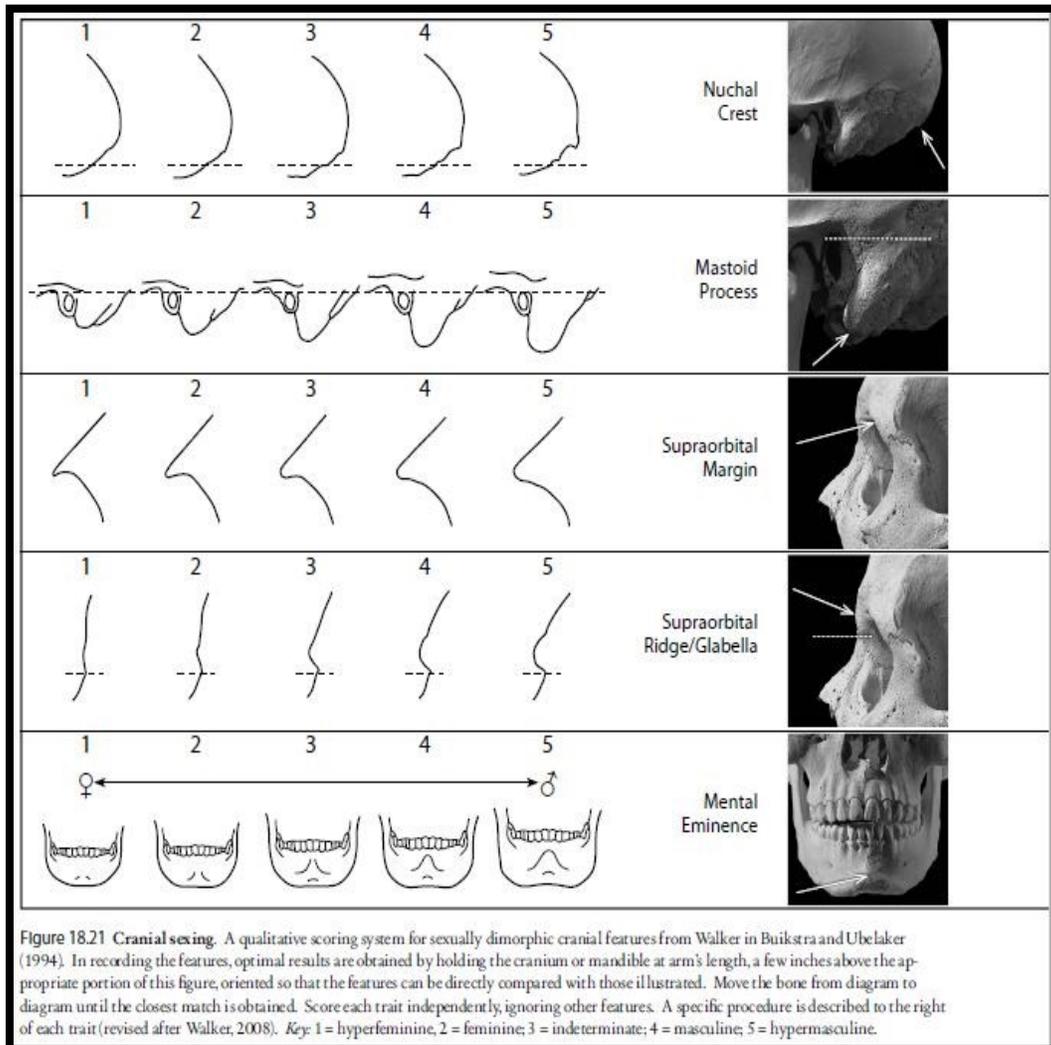


Figure 3.4 Estimation du sexe à l'aide de la morphologie crânienne (Buikstra et Ubelaker 1994)

<p>Nuchal Crest: View the lateral profile of the occipital and compare it to the diagrams. Feel the surface of the occipital and note any rugosities on its surface. The important feature to consider in scoring this trait is the development of bone on the external surface of the occipital associated with the attachment of the nuchal muscles. Ignore the contour of the underlying bone (eg, the presence or absence of an occipital bun) in scoring this trait.</p> <p><i>Minimal expression (score = 1):</i> The external surface of the occipital is smooth with no bony projections visible from when the lateral profile of the occipital is viewed.</p> <p><i>Maximal expression (score = 5):</i> A massive nuchal crest that projects considerable distance from the bone and forms a well-defined ledge or hook of bone.</p>
<p>Mastoid Process: Score this feature by comparing its size with that of surrounding structures such as the external acoustic meatus and zygomatic process of the temporal bone. Mastoid processes vary considerably in their proportions. The most important variable to consider in scoring this trait is the volume of the mastoid process, not its length.</p> <p><i>Minimal expression (score = 1):</i> A very small mastoid process that projects only a small distance below the inferior margins of the external acoustic meatus and the digastric groove.</p> <p><i>Maximal expression (score = 5):</i> A massive mastoid process with lengths and widths several times that of the external acoustic meatus.</p>
<p>Supraorbital Margin: Hold your finger against the margin of the orbit in the area lateral to the supra-orbital foramen. Look at each of the diagrams to determine which matches most closely.</p> <p><i>Minimal expression (score = 1):</i> Extremely sharp, border feels like the edge of a dull knife.</p> <p><i>Maximal expression (score = 5):</i> A thick rounded margin with a curvature that approximates that of a pencil.</p>
<p>Glabella/Supraorbital Ridge: View the cranium from its lateral side and compare the profile of the glabella/supra-orbital area with the profiles in the diagrams.</p> <p><i>Minimal expression (score = 1):</i> The contour of the frontal is smooth with little or no projection in the glabellar area.</p> <p><i>Maximal expression (score = 5):</i> The glabella and/or supra-orbital ridge are massive and form a rounded loaf-shaped projection.</p>
<p>Mental Eminence: Hold the mandible between your thumbs and your index fingers with your thumbs on either side of the mental eminence. Move your thumbs medially so that they delimit the lateral borders of the mental eminence.</p> <p><i>Minimal expression (score = 1):</i> Area of the mental eminence is smooth. There is little or no projection of the mental eminence above the surrounding bone.</p> <p><i>Maximal expression (score = 5):</i> A massive mental eminence that occupies most of the anterior portion of the mandible.</p>

Figure 3.5 Descriptions des traits crâniens pour le sexe (Buikstra et Ubelaker 1994)

D'autres observations, en lien avec l'os coxal et le sacrum, ont été réalisées (figures 3.6 et 3.7). Plusieurs traits morphologiques, tels que l'ouverture de l'incisure ischiatique (plus importante chez les femmes), le sillon pré-auriculaire (présent chez les femmes ayant accouché), l'angle sous-pubien (plus ouvert pour une femme), la forme de la crête iliaque (plus courbée chez l'homme) et la forme du pubis (rectangulaire pour une femme, triangulaire pour l'homme) sur l'os coxal et la largeur du sacrum ont permis d'évaluer le sexe d'un individu (Annexe 2. Tableau A2.3). Ces méthodes de détermination sexuelle ont été utilisées pour les individus non-sexués comme Ishango 13, MAK35, KULT4, KULT9/10, KULT14 et les deux Azande, pour le crâne et la ceinture pelvienne (Annexe 2. Tableau A2.1).

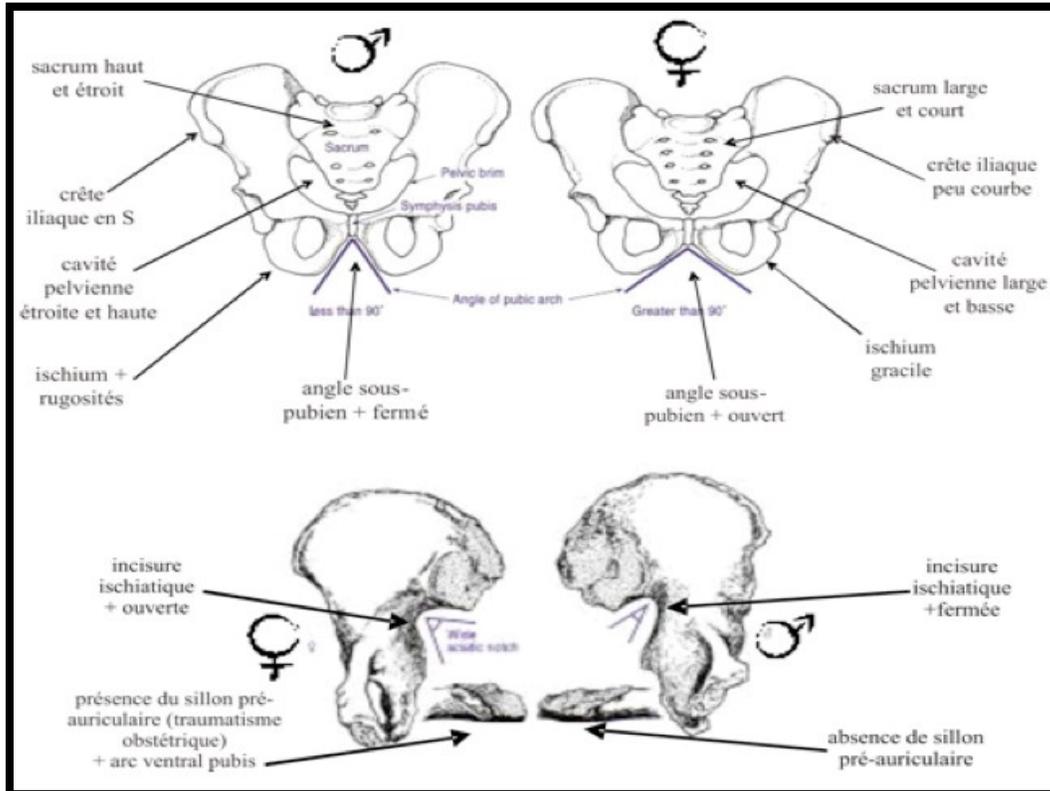


Figure 3.6 Morphologie de la ceinture pelvienne (os coxal et sacrum) déterminant le sexe (Buikstra et Ubelaker 1994)



Figure 18.26 Sexual dimorphism in the bony pelvis showing differences in size and shape. *Left: female; right: male.* One-fourth natural size.

Figure 3.7 Photo du dimorphisme sexuel des os pelviens montrant la taille et la forme (White, Black et Folkens 2012)

Ensuite, l'âge des individus a été déterminé par le degré d'attrition dentaire, la forme de la mandibule, l'usure des corps vertébraux, la surface auriculaire et la symphyse pubienne (tous deux sur l'os coxal) (Annexe 2. Tableau A2.4, figures 3.8 à 3.11). Même si ces traits morphologiques sont sujets aux variations interindividuelles et inter-groupes, ils permettent une approximation de l'âge des Pygmées 212 et 213, de MAKT35.A2 et T35 B1, KULT9/10 et des deux Azande (Annexe 2. Tableau A2.5).

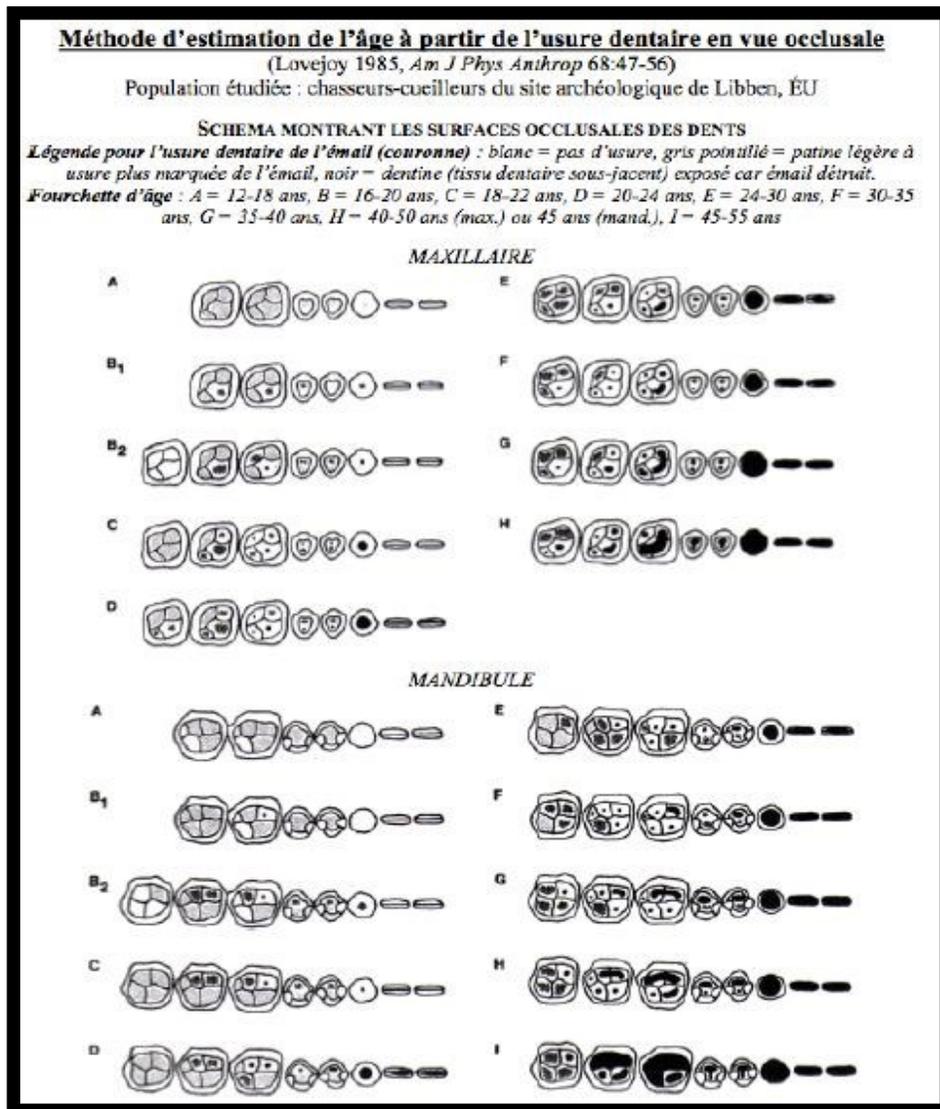
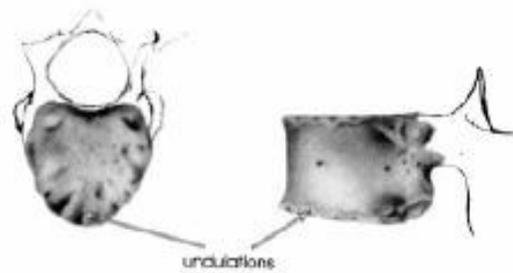


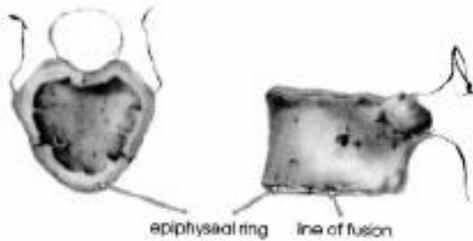
Figure 3.8 Méthode d'estimation de l'âge à partir de l'usure dentaire en vue occlusale (Lovejoy 1985)

AGE CHANGES IN VERTEBRAL BODIES, SUPERIOR AND LATERAL VIEWS



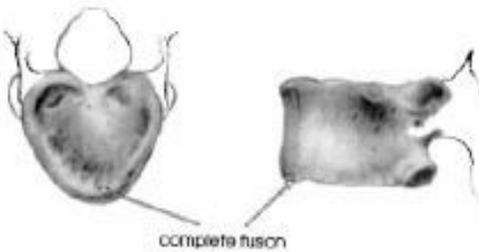
STAGE 1: CHILD (LESS THAN 16 YEARS)

- The epiphyseal ring is absent.
- Regular undulations are present on edges of vertebral body.



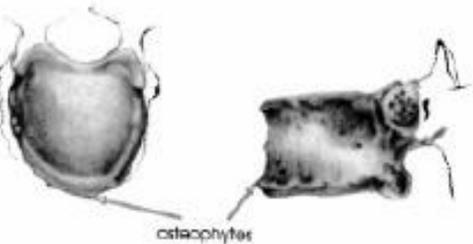
STAGE 2: LATE TEENAGER (16-20 YEARS)

- The epiphyseal ring is in the process of fusing.
- The line of fusion is clear.
- The epiphyseal ring chips off easily.



STAGE 3: YOUNG ADULT (20-29 YEARS)

- The epiphyseal ring is completely fused.
- The line of fusion is not visible.
- No osteoarthritis is visible.
- The bone is smooth and solid.



STAGE 4: OLDER ADULT (OVER 30 YEARS)

- The epiphyseal ring is obliterated.
- Osteophytic growth is progressing on the edges of the vertebral bodies.
- The bone (particularly the intervertebral surface) is increasingly porous.

Figure 5.10
Vertebral Aging in 4 Stages with Abbreviated Descriptions

These illustrations are adapted from the Albert and Maples (1995) examples. They provide an overview of the basic age-related changes in vertebral bodies. For more detail, refer to the original publication and practice with casts of the original material available through Bone Clones. See p. 326 for information.

Figure 3.9 Méthode d'estimation de l'âge à partir de l'usure des corps vertébraux (Albert et Maples 1995)

**Directives pour l'estimation de l'âge au décès avec la méthode visuelle
appliquée sur la surface auriculaire (In Schwartz 1995, p 202-203)**

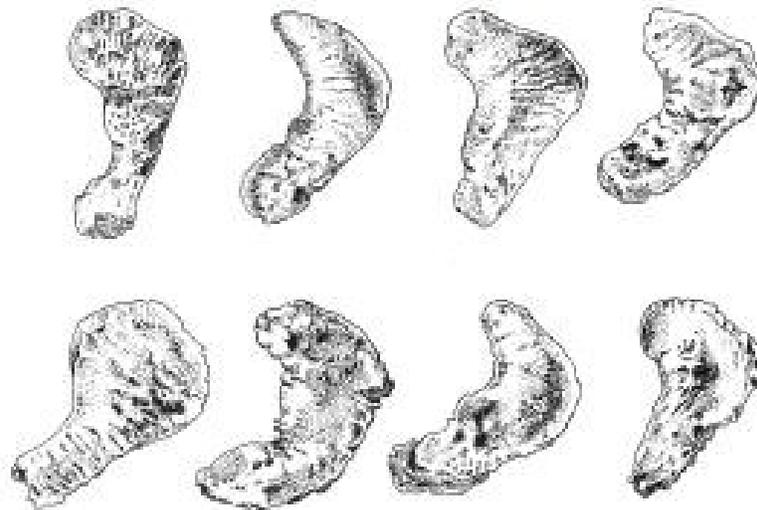


Figure 7-3 Examples of auricular surfaces of left ilia illustrating age-related stages of change (adapted from Lovejoy et al., 1985); (top row, from left to right) stages 1-5, (bottom row, left to right) stages 6-10; see text for description and associated ages of each stage.

1. Ages 20 to 24: "Youthful appearance"; that is, well-defined, broad transverse billows covering most of surface, which is finely granular with no porosity; absence of retroauricular and apical activity.
2. Ages 25 to 29: Still rather "youthful" looking (i.e. distinct transverse pattern) but with some loss of billowing and concomitant increase in striae (i.e. striations) as well as an increase of coarseness in grain; absence of retroauricular and apical activity.
3. Ages 30 to 34: More in the inferior than the superior demifacet, there is noticeable replacement of billowing by striae and continued loss of the transverse pattern,

resulting in a smoother appearance; there is also an increase in the coarseness of grain of the surface with the possible development of patches of microporosity; activity is more likely to occur in the retroauricular region than at the apex.

4. Ages 35 to 39: Breakdown of transverse patterning, almost complete obliteration of striae and especially of billowing, and a fairly uniform increase in the coarseness of granularity across the entire surface; minimal activity still in the retroauricular region and even less at the apex.

5. Ages 40 to 44: Billowing absent and remaining striae obscure; continued breakdown of transverse patterning; patches of denser texture, with possible microporosity, appear within the coarsely granular surface; activity at the apex more frequent but more evident in the retroauricular region.
6. Ages 45 to 49: Absence of billowing, striae, and transverse patterning; the surface (and its margins) are distinctly irregular due to an almost complete transformation of granularity and microporosity to a denser texture; activity at the apex is slight to moderate but, again, more prevalent in the retroauricular region.
7. Ages 50 to 59: More extensive irregularity of the surface and its margins, with transformation from granular to dense texture and occasional development of macroporosity; lipping of the inferior margin of auricular facet is common and often extends below the body of ilium; activity in the retroauricular region, and sometimes even in the apical region, is moderate to marked.
8. Age 60+: Extensive topographic and marginal irregularity with marginal lipping and macroporosity; overall deterioration of subchondral bone prevalent; activity at the apex is often marked but is even more marked in the retroauricular region, the surface of which is largely osteophytic.

Figure 3.10 Méthode d'estimation de l'âge à partir de la surface auriculaire de l'os coxal (Schwartz 1995)

Directives pour l'estimation de l'âge au décès avec la méthode visuelle appliquée sur la symphyse pubienne (In Schwartz 1995, p 195-202)



Figure 7-2 Examples of right pubic symphyses illustrating Todd's 10 age-related stages of change (adapted from Todd, 1920); (top row, left to right) stages 1 to 5, (bottom row, left to right) stages 6 to 10; see Table 7-7 for description and associated ages of each stage.

Table 7-7 Todd's 10 Stages of Pubic Symphyseal Age-Related Change

1. 18-19 years (first postadolescent phase): Clearly defined horizontal ridges and furrows; margin and ventral beveling as well as ossific nodules lacking.
2. 20-21 years (second postadolescent phase): Dorsal furrows filling in with finely textured bone and dorsal margin becoming defined; occasional development of ossific nodules; hints of ventral beveling.
3. 22-24 years (third postadolescent phase): Destruction and filling-in of horizontal ridge-furrow pattern; dorsal margin more clearly delineated; onset of ventral beveling and rarefaction (porous beveled strip of bone along ventral border) obvious; ossific nodules present.
4. 25-26 years (24-26 years as emended by Brooks (1955)) (fourth phase): Continued destruction of ridge-furrow pattern; dorsal margin complete; ventral beveling more pronounced (increased rarefaction); lower extremity of symphyseal surface becoming delineated.
5. 27-30 (26-27 years) (fifth phase): Lower extremity of symphyseal surface more clearly defined and upper extremity becoming delineated; continued ventral beveling.
6. 30-35 (27-34 years) (sixth phase): Symphyseal surface granular; upper and lower extremities even more clearly delimited with partial (ventral) or complete development of ventral rampart.
7. 35-39 (34-38 years) (seventh phase): Rarefaction of symphyseal surface and ventral border decreasingly active; mineralization into attendant tendons and ligaments (hyperostotic activity).
8. 39-44 (38-42 years) (eighth phase): Symphyseal surface and ventral border smooth; extremities clearly defined, adding to definition of ovoid perimeter of modified symphyseal surface.
9. 45-50 (42-51 years) (ninth phase): Ovoid perimeter modified into thin rim (similar to rim around glenoid fossa of scapula) (dorsal and ventral margins thus lipped).
10. 50+ (51+) years (tenth phase): Erosion with possible osteophytic outgrowth of symphyseal surface; breakdown of ventral, lipped margin.

Source: From Todd (1920).

Figure 3.11 Méthode d'estimation de l'âge à partir de la Symphyse pubienne de l'os coxal (Schwartz 1995)

3.2.1.2 Mesures métriques

La morphométrie permet d'obtenir le sexe de chaque individu avec plus de fiabilité. La bonne conservation des os coxaux des Azande et des Pygmées a permis l'utilisation du logiciel DSP V2 (Bruzek et al. 2017) (figure 3.12). Ce logiciel utilise le principe de l'analyse discriminante, et affiche la probabilité d'appartenir au groupe féminin ou masculin d'un spécimen donné, en comparant les données métriques de l'os coxal à un échantillon de référence mondial. Le DSP 2, utilise 10 mesures (Annexe 2. Tableau A2.6), dont les 4 premières sont mesurées sur l'ischium (élément antérieur de l'os coxal). Cette méthode est fiable au minimum à 95 % (Bruzek et al. 2017). Cependant, la base de données du logiciel DSP 2 n'inclut pas de population pygmée dans leurs populations de référence¹¹. Étant donné la petite taille de cette population, la détermination de leur sexe par ce logiciel semble biaisée. Le sexe des Pygmées, bien que connu, n'a été révisé que pour souligner la contradiction avec la mesure métrique. En effet, pour les individus Pygmées 207 et 212, la méthode morphométrique indique un sexe féminin (figure 3.12), mais l'observation visuelle et les informations trouvées sur ces individus (Matiegka et Maily 1938) indiquent qu'ils sont de sexe masculin (Annexe 2. Tableau A2.3). Dans ce cas-ci, nous avons donc choisi de nous fier à la méthode visuelle.

¹¹ Communication personnelle (Bruzek 2018)

DSP 2 : Un outil de diagnose sexuelle probabiliste à partir des données métriques de l'os coxal.

Lisez moi en premier
DSP V2
Mesures
Plages de mesures
À propos de DSP V2

Obs	Pum	Spu	Dcox	limt	lsmm	Scox	Ss	Sa	Sis	Veac	PF	PH	SEXE	Statut
specimen A		20.00	192.00		90.00	142.00	04.00	80.00	34.00	47.00	0.997	0.005	Femme	Calcul réalisé
specimen B		28.00	212.00	38.00	112.00						0.02	0.98	Homme	Calcul réalisé
specimen C		27.00	204.00	42.50	108.00		73.50	74.50			0.308	0.692	ND	Calcul réalisé
spec. D (1)	73.00	25.00	194.00			150.00					0.999	0.001	Femme	Calcul réalisé
spec. D (2)	69.00	25.00	194.00			150.00					0.984	0.016	Femme	Calcul réalisé
Azande 35 D	60.00	16.00	166.00	34.00	88.00	123.00	52.00	64.00			1	0	Femme	Calcul réalisé
Azande 35G	62.00	15.00	167.00	37.00	90.00	123.00	53.00	69.00			1	0	Femme	Calcul réalisé
Azande 39D	58.00	21.00	186.00	29.00	98.00	132.00	58.00	62.00			0.037	0.963	Homme	Calcul réalisé
Azande 39G	61.00	24.00	186.00	26.00	95.00	134.00	57.00	63.00			0.094	0.906	ND	Calcul réalisé
Pygmée 207D	56.00	20.00	167.00	35.00	87.00	122.00	55.00	65.00			0.998	0.002	Femme	Calcul réalisé
Pygmée 207G	55.00	22.00	169.00	31.00	88.00	120.00	54.00	65.00			0.864	0.136	ND	Calcul réalisé
Pygmée 212D		19.00	175.00	31.00	91.00		50.00	63.00			0.997	0.003	Femme	Calcul réalisé
Pygmée 212G			177.00	32.00			51.00	64.00	25.00	44.00	0.997	0.003	Femme	Calcul réalisé

Figure 3.12 Capture d'écran des résultats du DSP2 appliqué aux os coxaux droit et gauche des Azande (35 et 39) et Pygmées (207 et 212). Les individus étudiés sont en rose.

3.2.2 Mesures des membres complets et fragmentaires

3.2.2.1 Prises de mesure des os longs

La longueur maximum de chaque os a été obtenue selon la méthode de Buikstra et Ubelaker (1994), à l'aide d'une planche ostéométrique pour définir la taille corporelle des individus. Le diamètre supéro-inférieur de la tête fémorale (Buikstra et Ubelaker 1994) a été mesuré avec un pied à coulisse (tableau 3.2). Cette mesure est utilisée pour reconstruire la masse corporelle des individus (Stock et Shaw 2007; Ruff 2008; Ruff et al. 2012; Macintosh et al. 2014). L'équation $2,239*FH-39,9$ est utilisée pour les populations américaines blanches et noires, les Khoisans et les Pygmées africains (Cameron et Pfeiffer 2014; Elliott et al. 2014).

3.2.2.2 Fragmentation : estimation de la longueur

Malheureusement pour les collections archéologiques, la fragmentation est très fréquente. Dans le cas présent, face à la fragmentation des restes humains de Shum Laka (n=24), de l'Upemba (n=96) et d'Ishango (n=9), la longueur totale de chaque os fragmentaire a été estimée. Ainsi, les points de repère ont été choisis selon le degré de fragmentation de l'os, parfois très important pour reconstituer la longueur de ces os incomplets.

Lors de la fragmentation des os, une ou les deux extrémités sont souvent endommagées ou totalement absentes. Leurs longueurs doivent donc être estimées. À titre d'exemple, la méthode, qui a été créée ici, pour estimer la longueur de l'humérus (figure 3.13) et du fémur (figure 3.14) est présentée ci-bas. Les figures des quatre autres os longs (radius, ulna, tibia et fibula), étudiés de la même manière, se trouvent dans l'annexe 2 (figures A2.1 à A2.4).

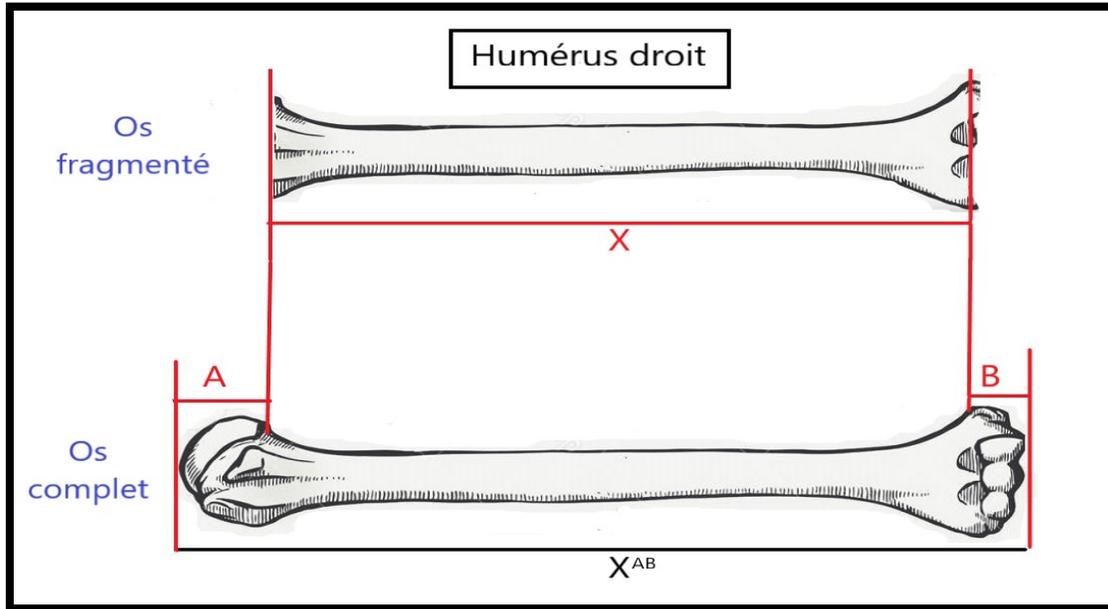


Figure 3.13 Mesure prise et estimée afin de produire une estimation de la longueur d'un humérus droit (vue antérieure). Image modifiée de Dreamstime 2021. La lettre **X** représente la partie (diaphyse) de l'os fragmentaire commune à l'os complet, **A** représente la hauteur de la tête humérale, **B** représente la hauteur du condyle et X^{AB} représente la longueur totale de l'os complet.

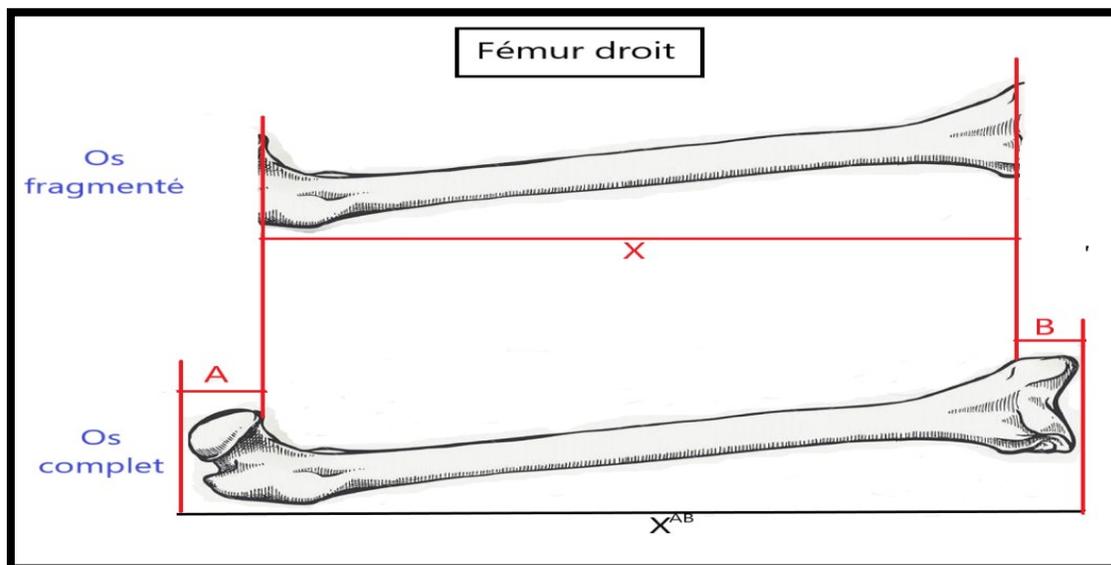


Figure 3.14 Mesure prise et estimée afin de produire une estimation de la longueur d'un fémur droit (vue antérieure). Image modifiée de Dreamstime 2021. La lettre **X** représente la partie (diaphyse) de l'os fragmentaire commune à l'os complet, **A** représente la hauteur de la tête fémorale, **B** représente la hauteur des condyles et X^{AB} représente la longueur totale de l'os complet.

Tableau 3.2 Légende des mesures utilisées pour estimer la longueur des os fragmentaires.

Légende de l'humérus	Légende du fémur
A = Hauteur de l'extrémité proximale A'= Hauteur estimée de l'extrémité proximale	A = Tête fémorale de l'extrémité proximale A'= Hauteur estimée de l'extrémité proximale
B = Hauteur de l'extrémité distale B'= Hauteur estimée de l'extrémité distale	B =Condyle de l'extrémité distale B'=Hauteur estimée de l'extrémité distale
X_{AB} = Longueur totale de l'os complet X_{AB}' = Longueur totale estimée de l'os fragmentaire	
X = Partie (diaphyse) de l'os partagé par les deux os ; complet (X) et fragmenté (X')	

Pour l'humérus, les points de repère préférentiels sont la hauteur de la tête humérale proximale et le début de l'épicondyle médio-distal (figures 3.13, 3.15 et 3.16). Quant au fémur, le point de repère proximal est la jonction de la tête fémorale et du col fémoral et à l'extrémité distale, le point de repère est le tubercule du grand adducteur (*adductor tubercle*) (figures 3.14, 3.17 et 3.18). Lors d'une fragmentation plus importante et lorsque ces traits sont absents, d'autres traits morphologiques peuvent être utilisés, comme la ligne intertrochantérique du fémur ou les lignes d'insertions musculaires présentes sur les os longs (figure 3.17). Enfin, pour les six os longs à l'étude (figures 3.13 et 3.14; Annexe 2. Figures A2.1 à A2.4), tous les os endommagés ont été estimés selon le procédé ci-dessous.

Pour estimer la longueur, il faut d'abord estimer la proportion (en pourcentage) de l'os que représentent les parties manquantes :

$$A_{\text{prop}} = A * 100 / X_{AB}$$

$$B_{\text{prop}} = B * 100 / X_{AB}$$

Il est ensuite possible d'estimer la proportion de la longueur de l'os préservé :

$$X_{\text{prop}} = 1 - A_{\text{prop}} - B_{\text{prop}}$$

On assume que pour les deux os : $A_{prop}=A'_{prop}$, $B_{prop}=B'_{prop}$, $X_{prop}=X'_{prop}$

Alors, la formule pour estimer la longueur totale de l'os fragmentaire est :

$$X_{AB}' = X' * 100 / X_{prop}$$

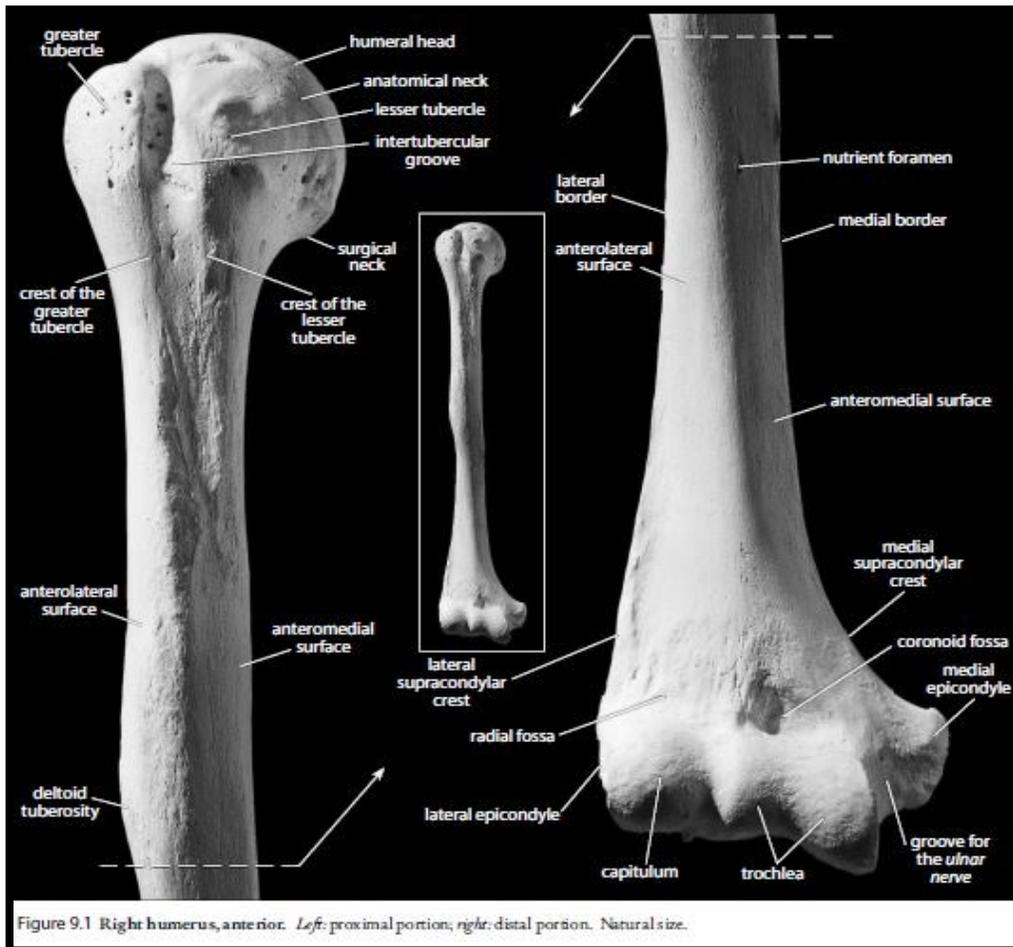


Figure 3.15 Descriptions de l'os huméral (White, Black et Folkens 2012)

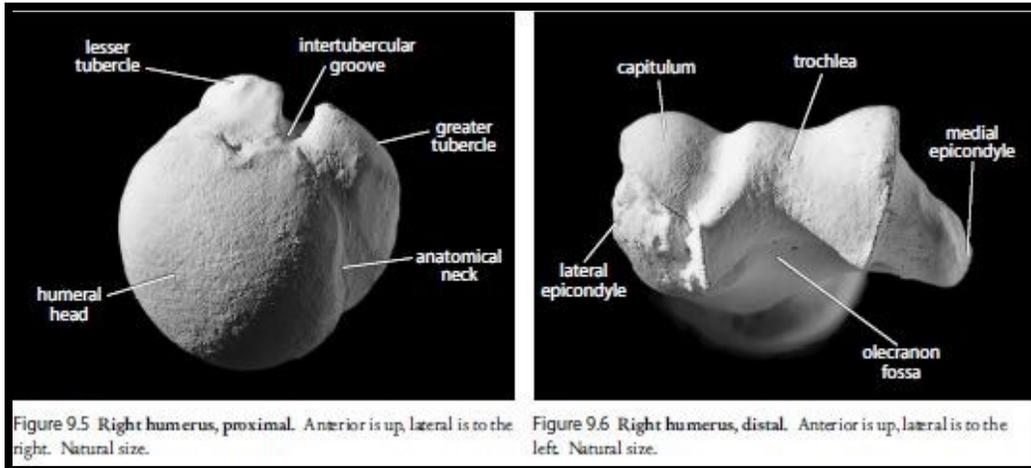


Figure 3.16 Humérus, vue des extrémités au niveau supérieur et inférieur de l'os (White, Black et Folkens 2012)

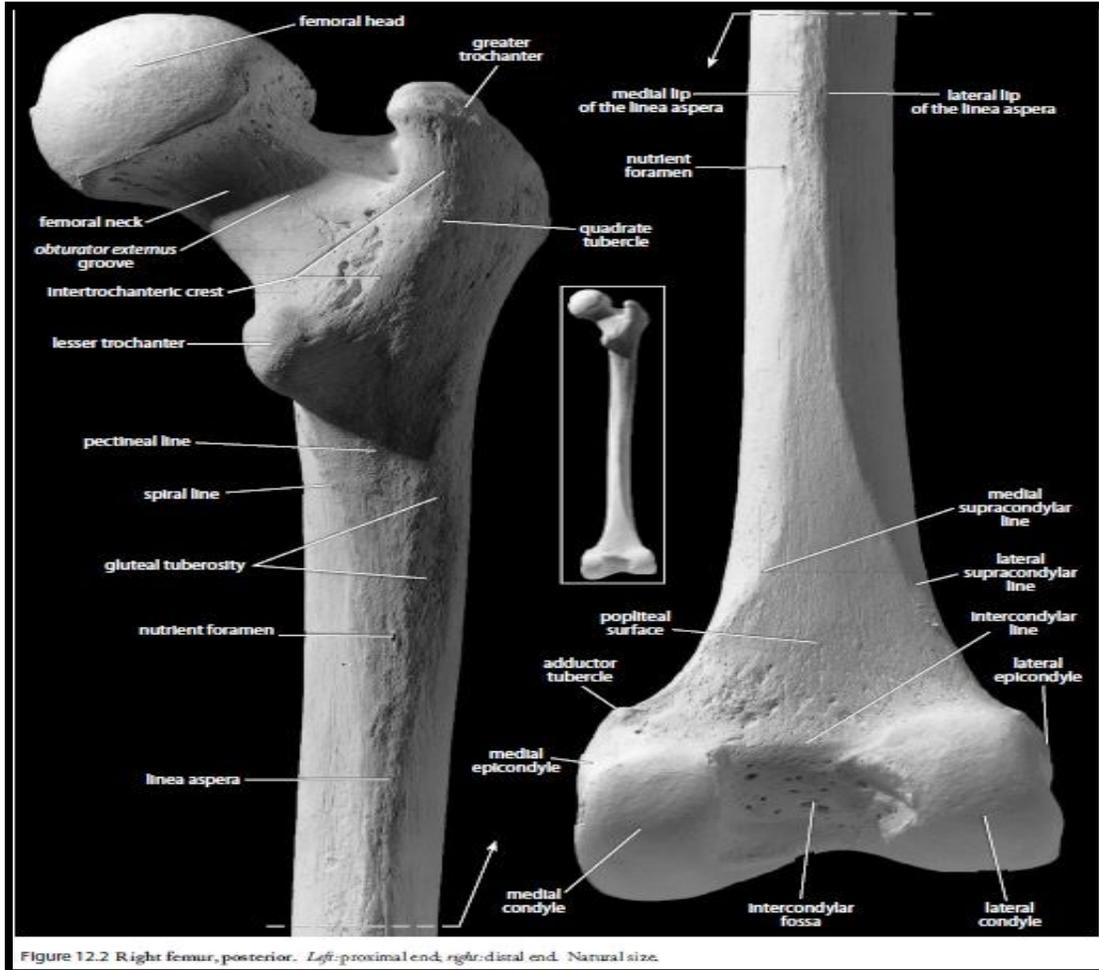


Figure 3.17 Descriptions de l'os fémoral (vue postérieure) (White, Black et Folkens 2012)

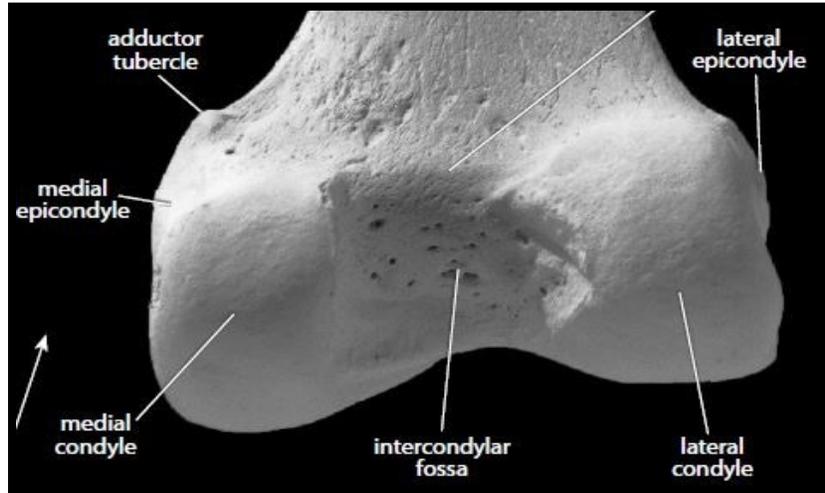


Figure 3.18 Extrémité distale du fémur (vue postérieure) (White, Black et Folkens 2012)

3.2.3 Ct scan

Après avoir estimé la longueur de tous les os, une analyse en coupe des membres supérieurs et inférieurs (humérus, radius, ulna, fémurs, tibia et fibula) a été réalisée pour évaluer la distribution et la quantité d'os cortical (Stock et Pfeiffer 2001). Les coupes virtuelles d'os sont produites à des sections analogues d'un os à l'autre (20 %, 35 %, 50 %, 65 %, 80 %). Elles ont été obtenues avec le tomодensitomètre médical (ou CT scan) SOMATOM FORCE de l'hôpital Érasme à Bruxelles en Belgique (en collaboration avec le Dr S Louryan).

3.2.3.1 Utilisation du tomодensimètre médical

Les os entiers ont été numérisés selon les étapes suivantes :

- i) Les spécimens ont été placés sous le rayon du Ct scan en vue antérieure vers le haut et en vue médiale vers la droite (si c'est un membre gauche et à gauche si c'est un membre droit).
- ii) Par économie de temps, les os ont été numérisés par paires (droit et gauche).
- iii) Chaque os était enregistré, via le logiciel de scan Siemens, avec le sexe, l'âge, et l'origine (site, tombe) pour chaque individu.

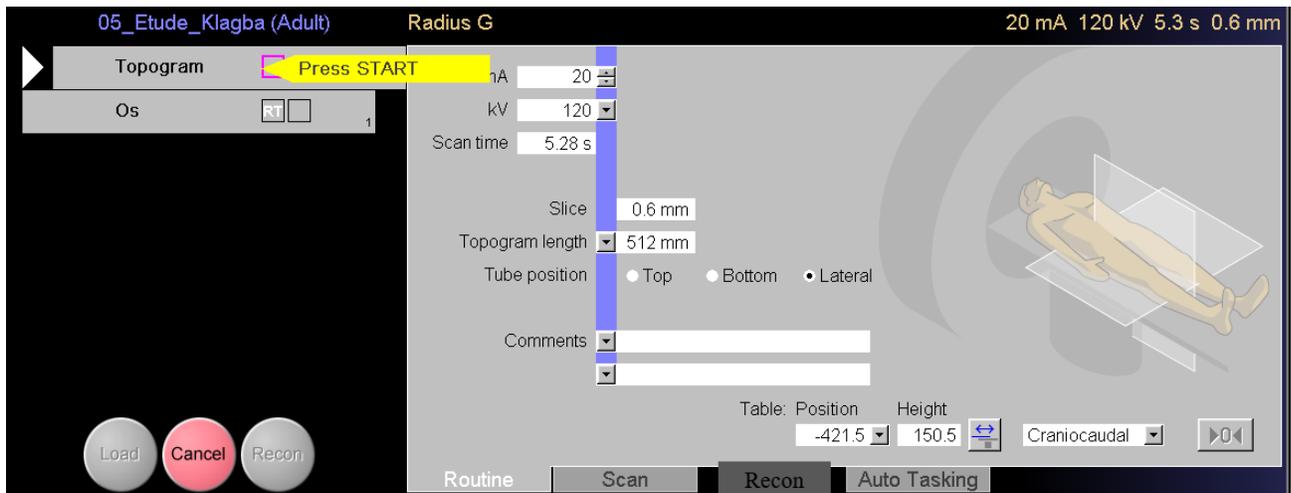


Figure 3.19 Capture d'écran de l'utilisation du logiciel Siemens lors du topogramme d'un radius gauche (*Routine*)

- iv) Le balayage de l'os s'est fait en quatre étapes contrôlées par l'ordinateur : Routine, Scan, Recon(-struction) et Auto tasking (figure 3.19). La première numérisation donne le volume de l'objet (Routine), puis la surface à numériser est agrandie. Ensuite, l'os est numérisé par un deuxième et dernier balayage par rayon pour confirmer la bonne collecte des données (Scan). Finalement, le rayon favorise la reconstruction coupe par coupe de l'os (Recon). Pour chaque os numérisé, les paramètres suivants ont été récoltés : l'épaisseur des coupes (obtenues virtuellement, en moyenne 0,6 mm), la rapidité de la numérisation (en moyenne 5, 3 s), l'intensité du rayon pour scanner l'élément (120 Kv¹², en moyenne) et la quantité envoyée (20 mA¹³, en moyenne).

3.2.4 Analyse des Ct-scans

Les Ct-scans ont été traités dans le logiciel 3D Slicer 4.8.0 qui permet l'observation transversale, sagittale et coronale de l'os (figure 3.20). Cette technique permet la reconstruction en trois dimensions des os longs. En outre, la longueur des os longs peut être remesurée, donc vérifiée.

¹² Voir la section abréviations.

¹³ Voir la section abréviations.

Cette approche donne également une vue interne de la distribution de l'os cortical tout le long de la diaphyse.

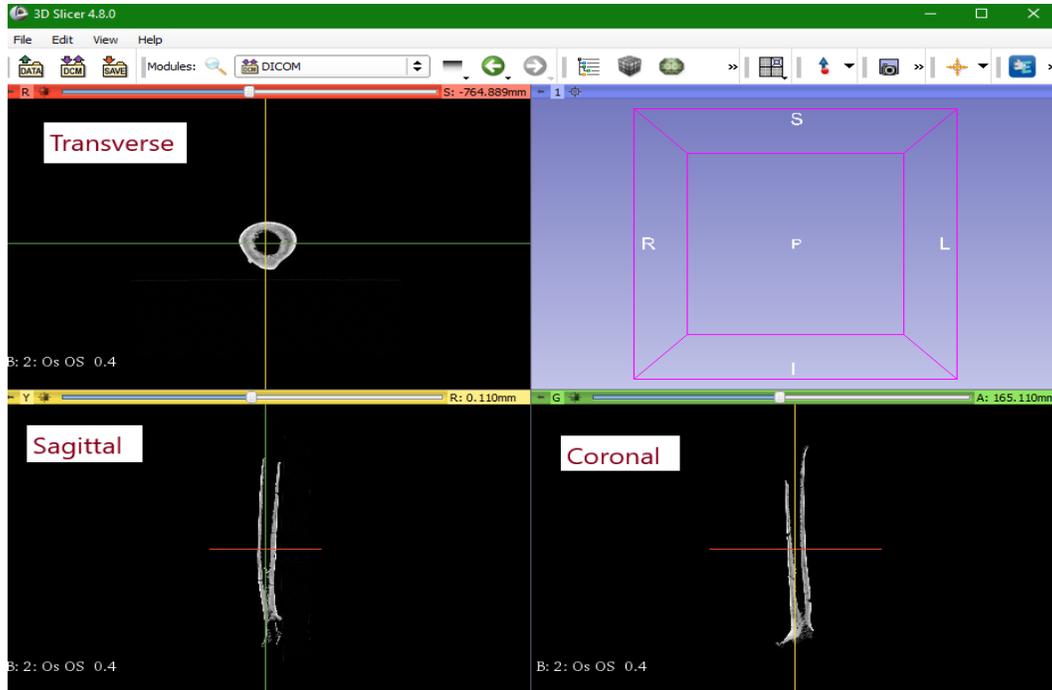


Figure 3.20 Capture du fémur droit SEIV de Shum Laka par le logiciel 3D Slicer. Les fenêtres noires montrent l'os dans trois plans. La fenêtre bleue permet la vérification de l'orientation de l'os.

Ensuite, le logiciel ImageJ permet de visualiser la coupe virtuelle en 3D, avec le plug-in 3D viewer. Avec le plug-in BoneJ, « Slice Geometry », la distribution osseuse des coupes (figure 3.21), sélectionnées soit à 20 %, 35 %, 50 %, 65 % et 80 % de la longueur maximale de l'os est mesurée (figure 3.22).

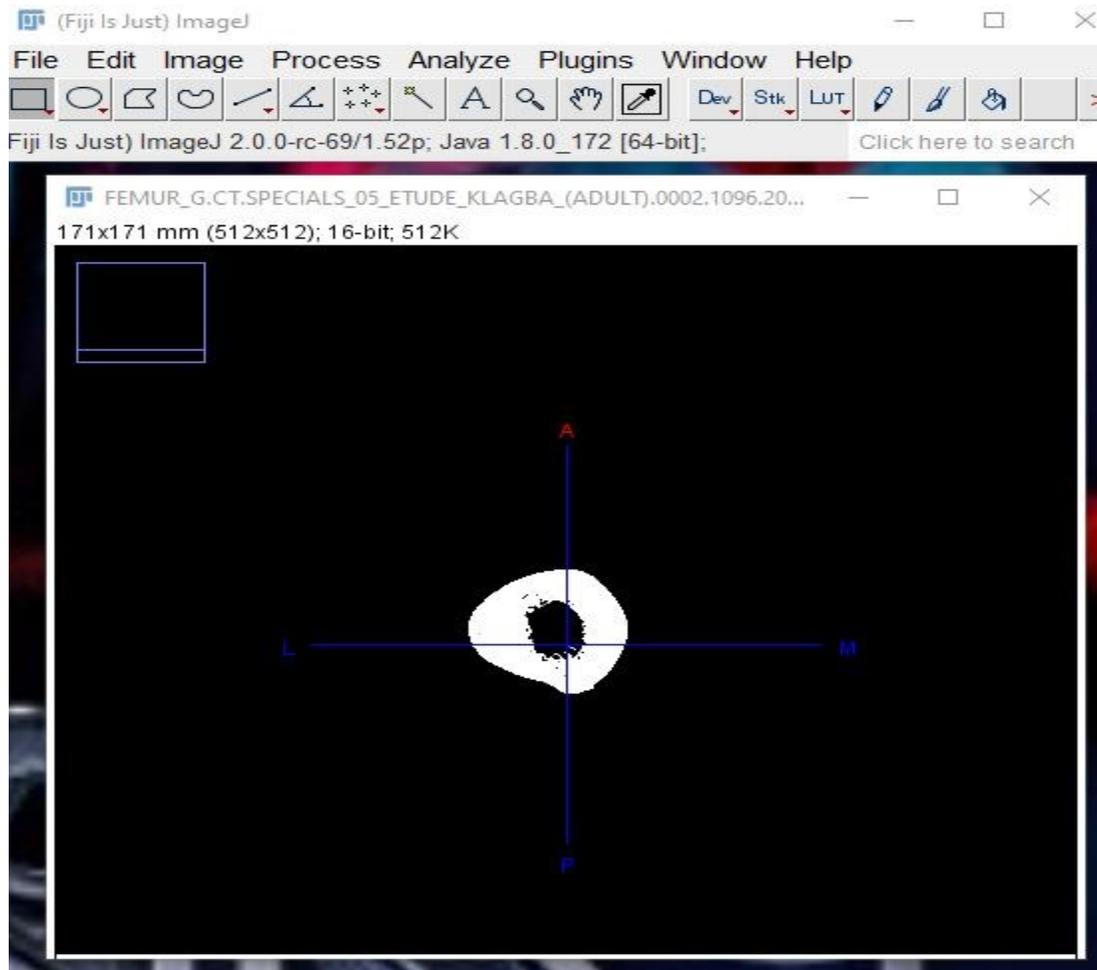


Figure 3.21 Capture de la coupe osseuse du fémur gauche de Malemba-Nkulu Tombe 35.A, par le logiciel ImageJ. La partie antérieure en haut est représentée par (A), la partie médiale à droite est représentée par (M), la partie latérale à gauche est représentée par (L) et la partie postérieure en bas est représentée par (P).

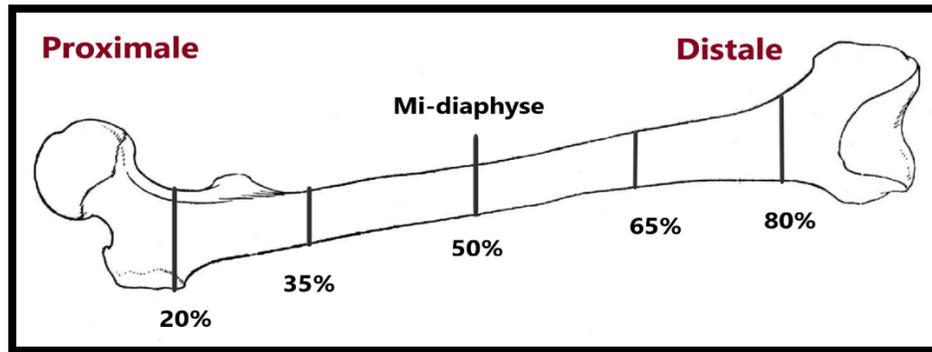


Figure 3.22 Les cinq coupes osseuses (sections transversales) sélectionnées sur la longueur du fémur. Image modifiée de Character Design References 2020.

Chaque os est documenté par plusieurs fichiers paramétriques et les coupes osseuses sont ici utilisées. Chaque image représente une coupe d'une épaisseur de 0,6 mm. Chaque coupe (20%, 35%, 50%, 65% et 80%) de l'os a été identifiée grâce au nombre d'images contenues dans ces fichiers.

3.2.4.1 Les propriétés géométriques de l'os

Les coupes d'os sont alors analysées selon les méthodes standards d'analyse en coupe (Ruff 2008). Les variables sélectionnées incluent (tableau 3.3)¹⁴ : la mesure des valeurs de l'aire corticale (CSA), des seconds moments de l'aire (I_{\min} et I_{\max}) et du second moment polaire de l'aire¹⁵ (J) (Stock et Pfeiffer 2001; Stock et Shaw 2007; Ruff 2008; Ruff et al. 2015). Elles ont permis d'évaluer la robustesse des os longs, plus précisément la rigidité de l'os (donc la résistance à la déformation) et finalement la force de l'os donc la résistance à la cassure.

¹⁴ Voir glossaire

¹⁵ Les seconds moments de l'aire (I_{\min} et I_{\max}) mesurent la résistance (de l'os) à la flexion dans l'aire donnée, tandis que les seconds moments polaires de l'aire (J) mesurent la résistance (de l'os) à la torsion dans l'aire donnée. Ainsi, ces mesures représentent, respectivement, l'aire de l'os lors d'une déformation en flexion et en torsion.

Tableau 3.3 Propriétés géométriques des zones transversales des os longs à l'étude (Cross-sectional geometry, CSG) (Ruff 2008; Cameron et Pfeiffer 2014).

Propriétés géométriques	Unité	Abréviation	Définition
Aire corticale	mm ²	CSA	Mesure de l'épaisseur corticale, résistance
Second moment minimal de l'aire	mm ⁴	I _{min}	Rigidité minimale en flexion
Second moment maximal de l'aire	mm ⁴	I _{max}	Rigidité maximale en flexion
Second moment polaire de l'aire	mm ⁴	J (=I _{min} + I _{max})	Résistance à la torsion et rigidité moyenne de l'os
Indice de circularité diaphysaire		I _{max} /I _{min}	La circularité de l'os. Distribution relative de l'os sur l'axe max et min

Chaque propriété (tableau 3.3), sauf I_{max}/I_{min} a été standardisée par la longueur de chaque os, pour les membres supérieurs et inférieurs. En effet, pour les membres supérieurs, la puissance 3 standardise l'aire de l'os et la puissance 5,33 les seconds moments de l'aire (incluant J). Les membres supérieurs n'ont pas été normalisés par la masse corporelle puisqu'elle n'affecte pas les membres supérieurs, contrairement aux membres inférieurs (Ruff 2000). En effet, les membres inférieurs ont été standardisés par la masse corporelle, la masse agissant sur l'axe, la flexion et la torsion des os longs porteurs. Ainsi, les valeurs de l'aire corticale ont été standardisées par la masse ; et les seconds moments de l'aire ont été standardisés par la masse et la longueur de l'os à la puissance 2 (J inclus) (tableau 3.4).

Tableau 3.4 Équation pour standardiser les os longs avec la masse corporelle et la taille corporelle des individus (Ledger et al. 2000¹; Ruff 2008; Cameron et Pfeiffer 2014).

Propriété	La taille corporelle	La masse corporelle
Aire de l'os (CA)	(Aire/ longueur de l'os ³) * 10 ⁸	(Aire/masse corporelle) *100
Second moment de l'aire (I _{max} , I _{min} et J)	(Second moment/ (longueur de l'os ^{5,33})) *10 ¹²	(Second moment/ (longueur de l'os ² *masse corporelle)) *10 ⁴

Une étude de Ruff (2000) a révélé qu'à la différence des autres espèces, les êtres humains observent une solidité osseuse similaire, malgré les différentes tailles corporelles. Dans ces

circonstances, les Mbuti, plus petits que les autres populations humaines ont été analysés avec les autres individus à l'étude.

Tout d'abord, les propriétés osseuses (tableau 3.3) des membres ont été comparées selon les stratégies de subsistance et les chasseurs-cueilleurs ont été comparés selon leurs environnements. Les agriculteurs de notre échantillon n'occupaient qu'un seul milieu, la plaine ; ils n'ont donc pas pu être comparés selon l'environnement. En outre, notre échantillon ne nous a pas permis d'observer ces stratégies dans un même environnement, soit les agriculteurs et les chasseurs-cueilleurs en plaine.

En second lieu, les propriétés telles que l'aire corticale (CSA) suggèrent que plus l'aire est grande, plus l'os est résistant. Puis, I_{max} et I_{min} représentent la rigidité (ténacité) en flexion maximale et minimale. Lorsque l'on additionne ces deux propriétés, on obtient une rigidité (ténacité) globale de l'os (J). La résistance aux forces de flexion est alors proportionnelle à la quantité de matériel, à la distribution du matériel (ici l'os), à la longueur de l'os, voire de la masse corporelle. Enfin, la dernière propriété étudiée est le ratio I_{max}/I_{min} ou la circularité de la diaphyse. Quand il est égal à 1, la distribution osseuse est uniforme, donc circulaire, ainsi quand il est plus grand que 1, l'os prend une forme plus ovale.

3.2.5 Analyses statistiques

Les propriétés géométriques ont été comparées en fonction de la stratégie de subsistance (tableau 3.5) avec le logiciel de statistique IBM SPSS Statistics 25 et les propriétés regroupant l'environnement en fonction de la stratégie de subsistance ont été étudiées avec le logiciel PAST4.05.

Pour chaque individu, les membres osseux étaient parfois absents et fragmentés. Par conséquent, le nombre d'individus à l'étude varie selon les catégories et les sections de l'os (Annexe 3. Tableau A3.2 à A3.7).

Tableau 3.5 Les facteurs à l'étude selon les groupes analysés.

Facteurs à l'étude		
Stratégie de subsistance	Chasseurs-cueilleurs	Agriculteurs
Environnement*	Montagne	Forêt

**Populations de chasseurs-cueilleurs*

Les échantillons atteignant rarement le nombre de 12 individus, il a été décidé que seuls les tests non-paramétriques seraient exécutés. Par conséquent, le test *U* de Mann-Whitney a été effectué pour comparer les membres supérieurs et inférieurs des deux stratégies de subsistance, la chasse-cueillette et l'agriculture. Il permet ainsi de déterminer quels sont les membres supérieurs et inférieurs les plus robustes, selon la stratégie de subsistance employée. Enfin, avec le minimum d'individus requis ($n=3$), le test One-way PERMANOVA sur PAST a permis l'analyse des chasseurs-cueilleurs selon leur environnement (en forêt et en montagne). Il permet alors de déterminer si les membres supérieurs et inférieurs des chasseurs-cueilleurs ont une robustesse différente ou similaire selon leurs environnements.

Chapitre 4- Résultats

L'âge et le sexe sont importants afin d'évaluer leur influence sur la variation globale de la morphologie. Cependant, les catégories étant trop inégales et peu nombreuses pour les dissocier selon la stratégie de subsistance et l'environnement, l'âge et le sexe n'ont été pas été retenus, mais pourront être utilisés dans une autre étude (Annexe 3. Tableau A3.1).

Malgré l'étendue du cadre temporel, nous nous concentrerons sur les possibles différences de robustesse (via les propriétés des six os longs) en lien avec la stratégie de subsistance (question 1) et l'environnement ou topographie (question 2). Le facteur temps, qui pourrait être abordé à l'aide d'une approche diachronique de chaque stratégie de subsistance, ne pourra pas être approfondi ici, face à la petite taille des échantillons¹⁶ (actuels et archéologiques). Néanmoins, les deux questions posées nous aideront à entrevoir de possibles différences écomorphologiques au cours du temps.

4.1 La stratégie de subsistance

Deux grands groupes, tous localisés en Afrique équatoriale et avec différentes stratégies de subsistance sont étudiés ici, soient les chasseurs-cueilleurs (regroupant ceux d'Ishango et les Mbuti, tous deux originaires de la R.D.C., et ceux de Shum Laka, au Cameroun) et les agriculteurs (de la dépression de l'Upemba et les Azande, tous deux localisés en R.D.C.).

4.1.1 L'humérus

L'analyse des propriétés humérales montre qu'il y a deux différences morphologiques significatives entre les stratégies de subsistance (tableau 4.1). En effet, à la section proximale des humérus gauches, les agriculteurs sont plus robustes (CSA) que les chasseurs-cueilleurs (Figure 4.1). Pour la section distale des humérus droits, les agriculteurs ont les diaphyses plus

¹⁶ Le nombre d'individus étudié est dans l'Annexe 3 du tableau A3.2 au A3.7.

ovales (I_{\max}/I_{\min}) que les chasseurs-cueilleurs. Dans ce cas, les charges reçues chez les premiers ne sont pas distribuées uniformément dans tous les axes (figure 4.2). Pourtant, malgré ces deux propriétés significativement différentes, les propriétés humérales des chasseurs-cueilleurs et des agriculteurs sont généralement assez similaires.

Tableau 4.1 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des humérus standardisés par la longueur selon la stratégie de subsistance (les valeurs significatives sont en gras).

Latéralité	Section (%)	CSA	I_{\min}	I_{\max}	J	I_{\max}/I_{\min}
Gauche	20	0,003	0,172	0,287	0,226	0,172
	35	0,190	0,213	0,261	0,261	0,973
	50	0,329	0,358	0,457	0,494	0,421
	65	0,075	0,075	0,075	0,118	0,871
	80	0,087	0,686	0,261	0,289	0,087
Droit	20	0,362	0,953	0,869	1	0,782
	35	0,166	0,534	0,484	0,433	0,707
	50	0,387	0,387	0,879	0,702	0,206
	65	0,687	0,586	0,972	0,856	0,972
	80	0,396	0,687	0,321	0,440	0,008

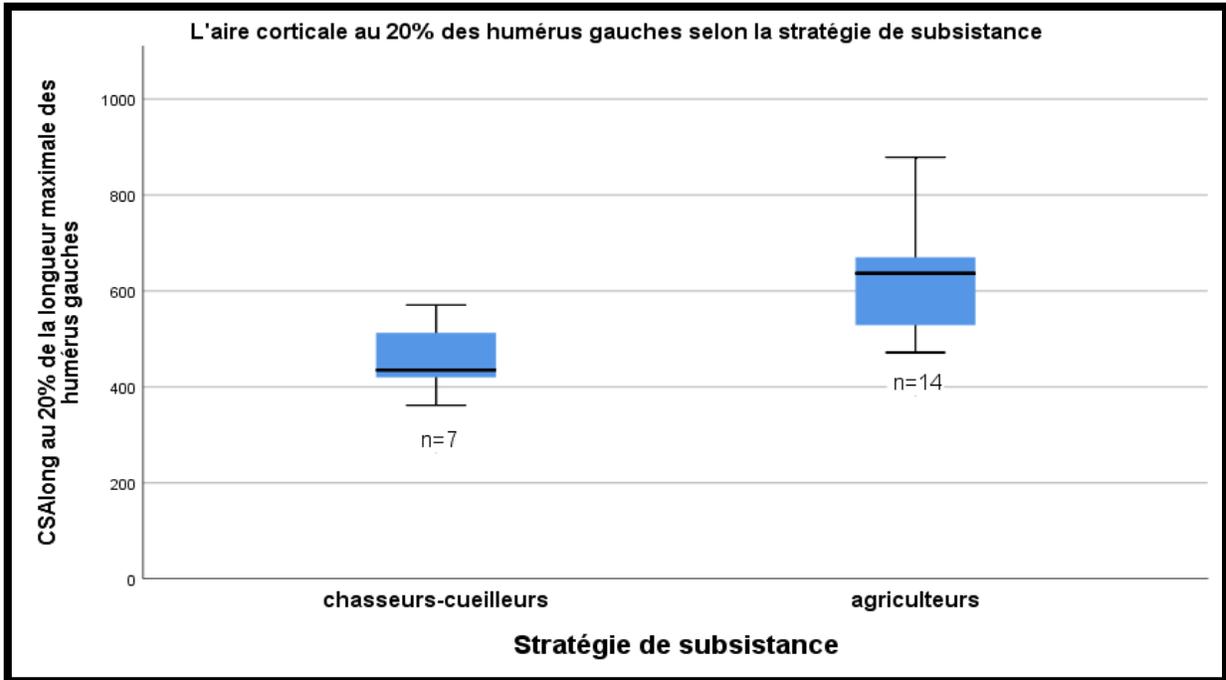


Figure 4.1 L'aire corticale standardisée par la longueur à la section proximale (20%) des humérus gauches selon la stratégie de subsistance

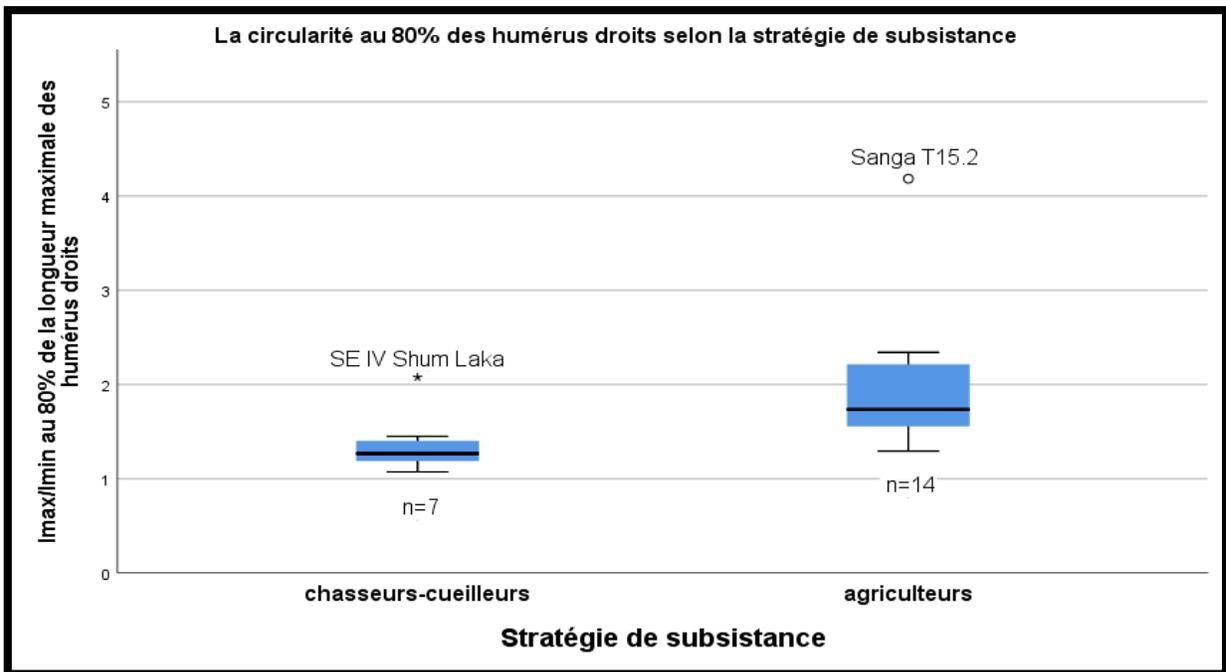


Figure 4.2 La circularité de la section distale (80%) des humérus droits selon la stratégie de subsistance

4.1.2 Le radius

Parmi les analyses des propriétés radiales, seuls les radius droits montrent des différences selon la stratégie de subsistance (tableau 4.2). Les valeurs de CSA, I_{min} et I_{max} à la mi-diaphyse et I_{min} à 65% des radius droits sont plus importantes chez les chasseurs-cueilleurs (figures 4.3 à 4.5). En revanche, I_{max}/I_{min} est significativement plus ovale à 65% de la diaphyse droite chez les agriculteurs. En d'autres mots, leur distribution osseuse n'est pas uniforme (figure 4.6). Finalement, seule la mi-diaphyse droite est différente selon le mode de vie (tableau 4.2). En général, les chasseurs-cueilleurs et les agriculteurs possèdent alors des radius de même force et forme.

Tableau 4.2 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des radius standardisés par la longueur selon la stratégie de subsistance (les valeurs significatives sont en gras).

Latéralité	Section (%)	CSA	I_{min}	I_{max}	J	I_{max}/I_{min}
Gauche	20	0,776	0,237	0,267	0,210	0,889
	35	0,121	0,121	0,368	0,163	0,333
	50	0,163	0,073	0,210	0,103	0,185
	65	0,353	0,499	0,782	0,659	0,842
	80	0,449	0,904	0,970	0,970	0,970
Droit	20	0,269	0,109	0,085	0,062	0,329
	35	0,091	0,113	0,196	0,196	0,134
	50	0,046	0,046	0,046	0,072	0,740
	65	0,093	0,047	0,176	0,129	0,047
	80	0,137	0,491	0,491	0,491	0,575

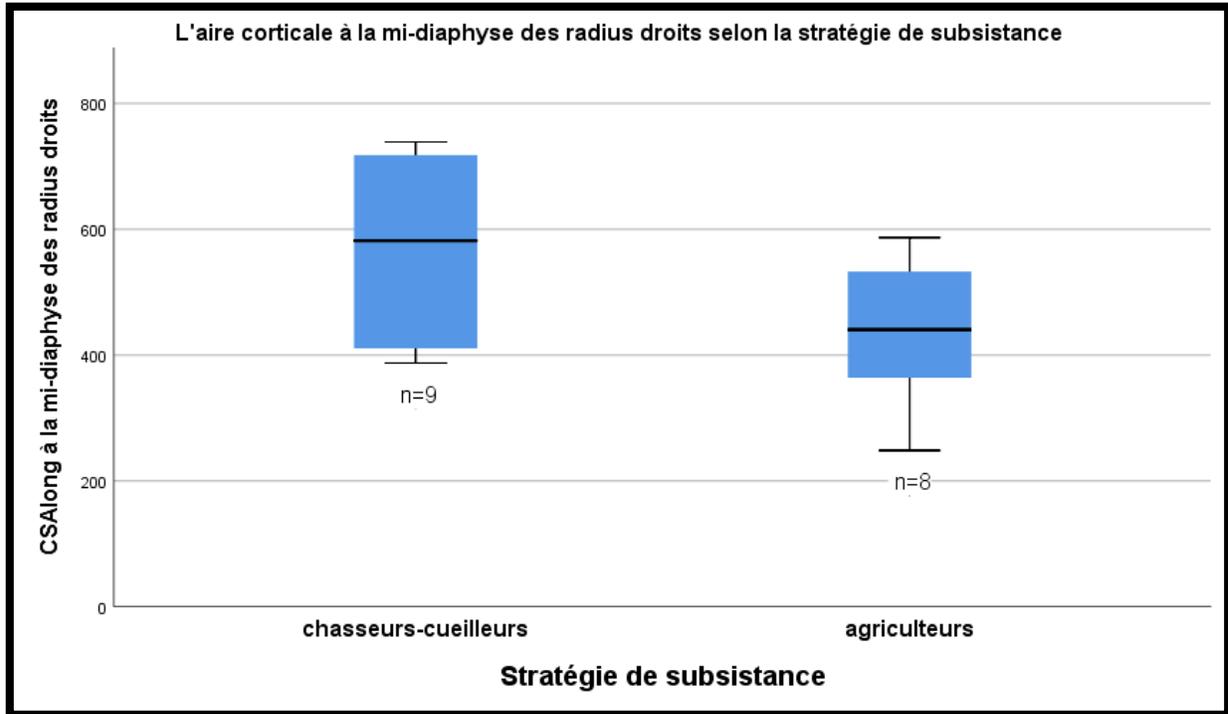


Figure 4.3 CSA standardisée par la longueur à la mi-diaphyse des radius droits selon la stratégie de subsistance

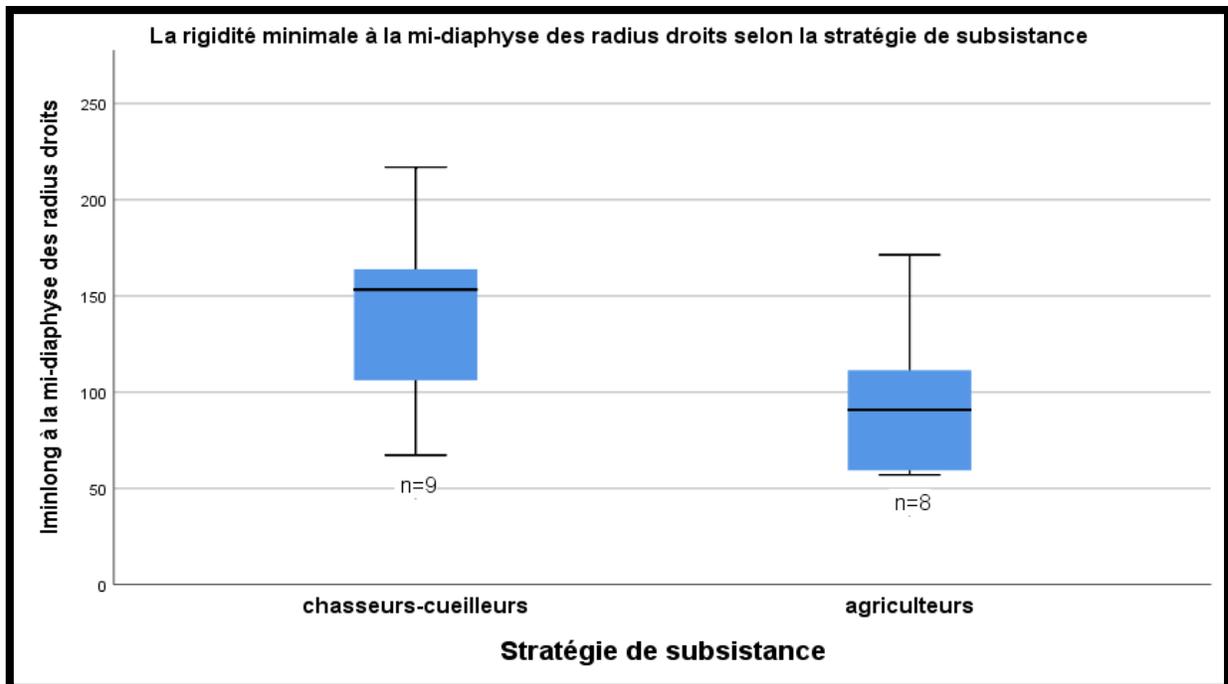


Figure 4.4 La rigidité minimale standardisée par la longueur à la mi-diaphyse des radius droits selon la stratégie de subsistance (résultat similaire à 65% d'I_{min})

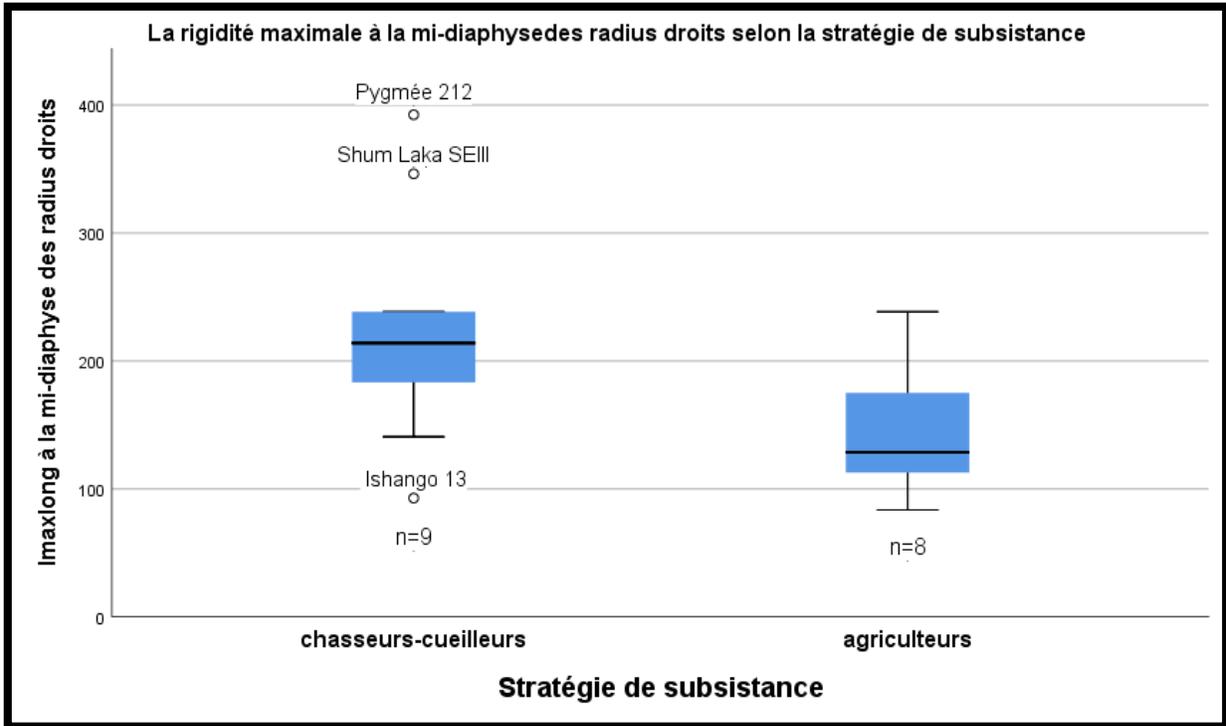


Figure 4.5 La rigidité maximale standardisée par la longueur à la mi-diaphyse des radius droits selon la stratégie de subsistance

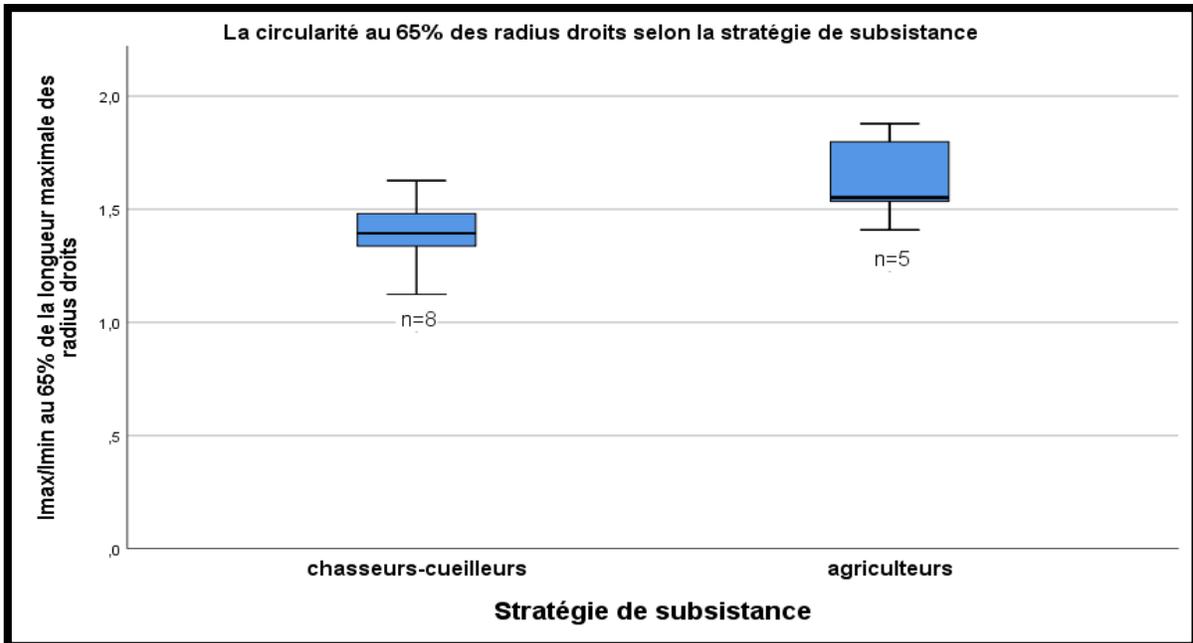


Figure 4.6 I_{max}/I_{min} à 65% de la longueur totale des radius droits selon la stratégie de subsistance

4.1.3 L'ulna

En observant les ulnas des chasseurs-cueilleurs et des agriculteurs, seule une propriété de l'os droit est significative (tableau 4.3). La section distale des ulnas droits (65%) est plus ovale chez les chasseurs-cueilleurs qu'après des agriculteurs. Les premiers ont donc une distribution osseuse qui n'est pas uniforme (figure 4.7). De fait, la force et la forme osseuse des ulnas sont généralement semblables.

Tableau 4.3 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des ulnas standardisés par la longueur selon la stratégie de subsistance (la valeur significative est en gras et la valeur presque significative a un astérisque).

Latéralité	Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
Gauche	20	0,787	0,604	0,518	0,479	0,367
	35	0,441	0,518	0,441	0,479	0,691
	50	0,484	0,594	0,535	0,652	0,716
	65	0,284	0,715	0,426	0,656	0,591
	80	0,053*	0,426	0,147	0,284	0,147
Droit	20	0,958	0,385	0,505	0,385	0,958
	35	0,505	0,090	0,068	0,120	0,400
	50	0,137	0,179	0,074	0,074	0,295
	65	0,426	0,659	0,325	0,426	0,009
	80	0,659	0,659	0,878	0,659	0,325

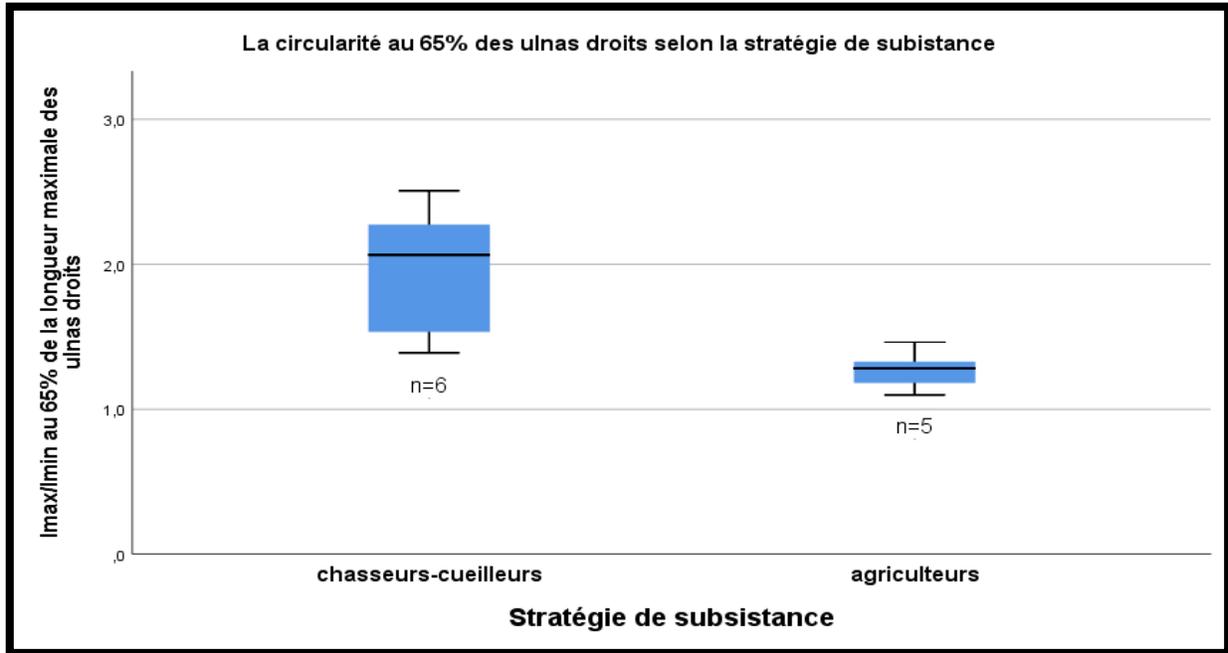


Figure 4.7 I_{\max}/I_{\min} à 65% de la longueur totale des ulnas droits selon la stratégie de subsistance

4.1.4 Le fémur

Les propriétés osseuses fémorales étudiées révèlent des différences morphologiques lorsque la stratégie économique est comparée (tableau 4.4 ; Annexe 3. Tableau A3.8). D'après ces résultats, les agriculteurs ont une plus grande force fémorale par rapport aux chasseurs-cueilleurs (figures 4.8 à 4.10), lorsque les propriétés sont standardisées par la masse (tableau 4.4). Par contre, à 35% des fémurs droits (figure 4.11), les chasseurs-cueilleurs ont des fémurs qui sont plus ovales que ceux des agriculteurs. Ces derniers ont donc une distribution osseuse plus uniforme que les chasseurs-cueilleurs (tableau 4.4). Finalement, même si l'aire est plus grande pour les agriculteurs, la rigidité et la forme des fémurs sont similaires entre ces modes de subsistance, et ce, peu importe si la masse corporelle est prise en compte ou non.

Tableau 4.4 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des fémurs standardisés par la masse corporelle selon la stratégie de subsistance (les valeurs significatives sont en gras et les valeurs presque significatives ont un astérisque).

Latéralité	Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
Gauche	20	0,028	0,229	0,285	0,349	0,425
	35	0,059*	0,415	0,850	0,577	0,230
	50	0,059*	0,577	0,229	0,285	0,532
	65	0,059*	0,492	0,415	0,415	0,637
	80	0,108	0,415	0,415	0,492	0,915
Droit	20	0,055*	0,209	0,099	0,304	0,127
	35	0,045	0,549	0,777	0,777	0,024
	50	0,038	0,954	0,377	0,598	0,972
	65	0,061	0,549	0,478	0,549	0,580
	80	0,045	0,698	0,867	0,959	0,804

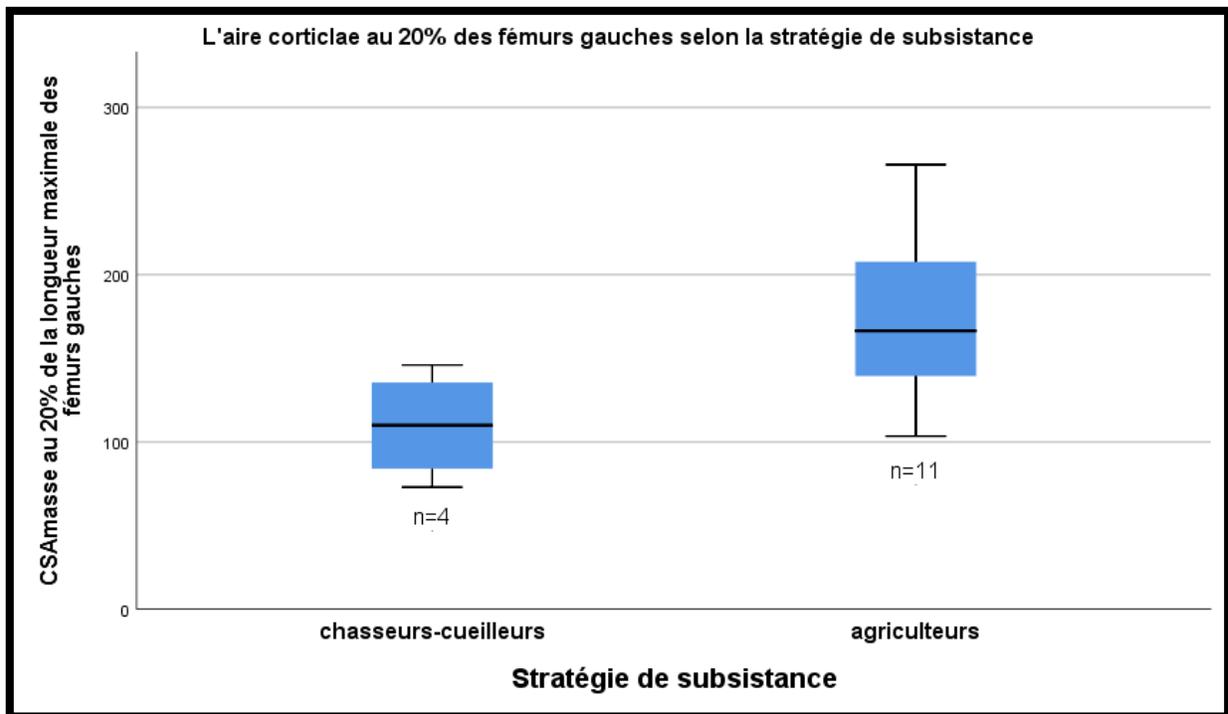


Figure 4.8 CSA standardisée par la masse corporelle à la section proximale des fémurs gauches selon la stratégie de subsistance

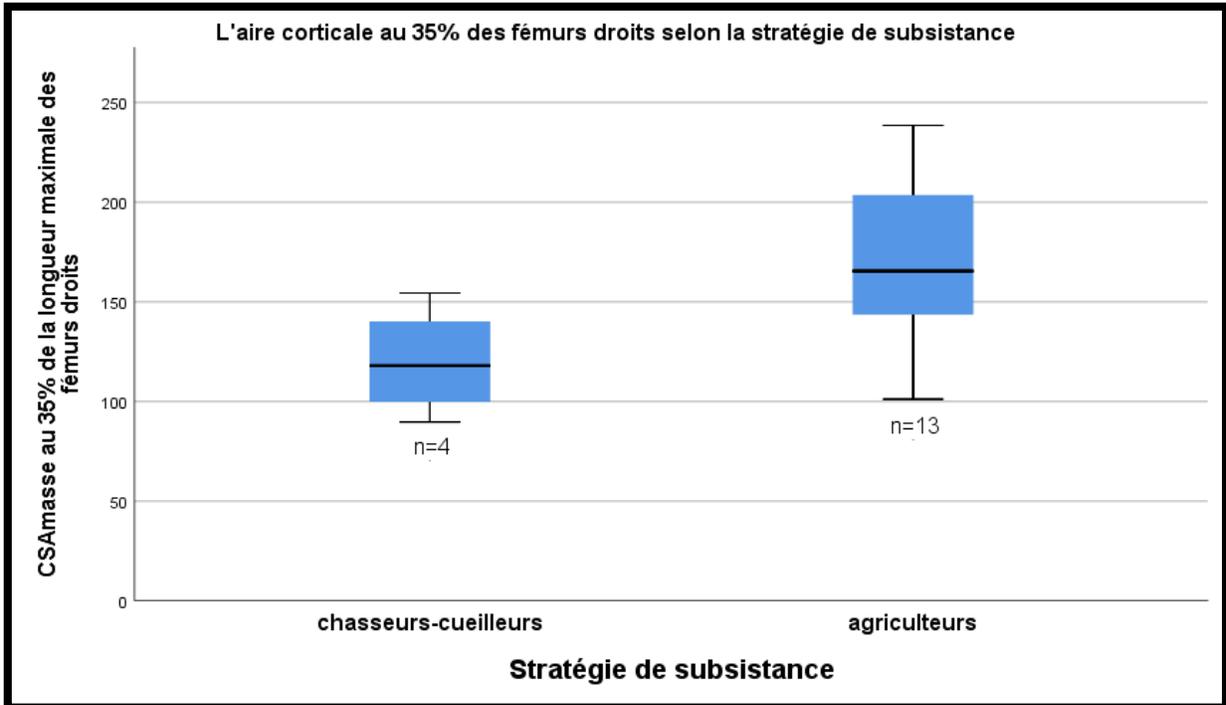


Figure 4.9 CSA standardisée par la masse corporelle à 35% de la longueur totale des fémurs droits selon la stratégie de subsistance (résultat similaire à la section distale)

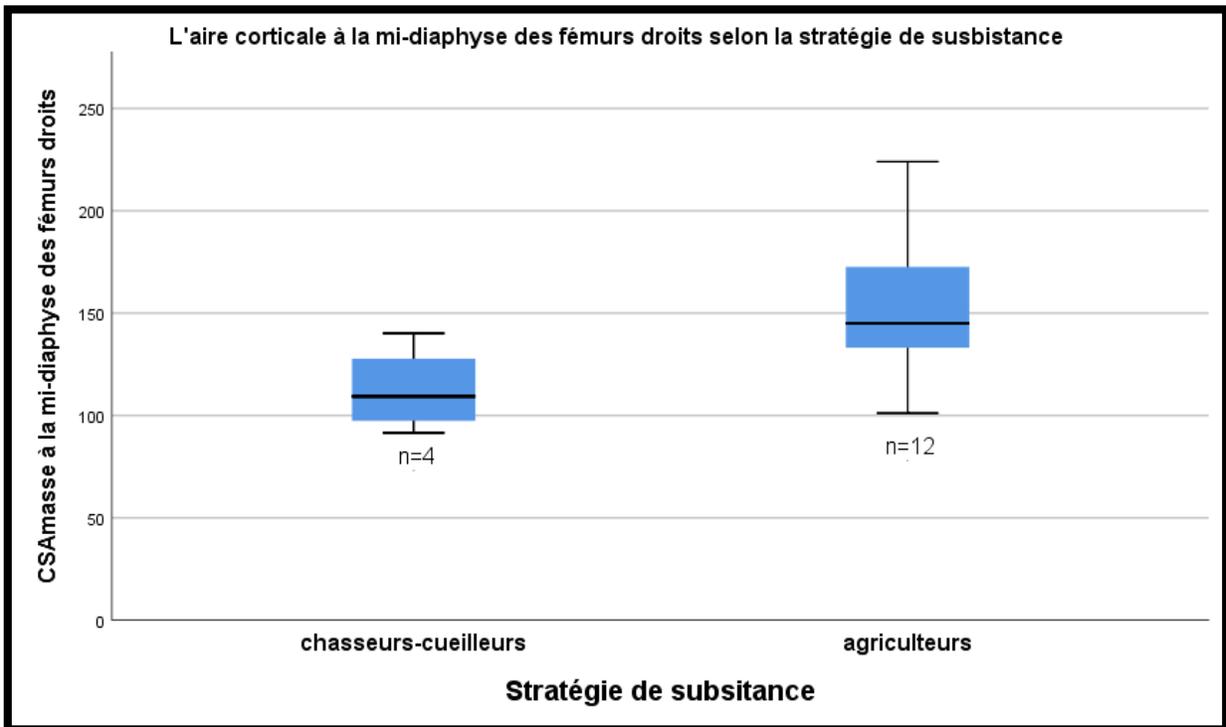


Figure 4.10 CSA standardisée par la masse corporelle à la mi-diaphyse des fémurs droits selon la stratégie de subsistance

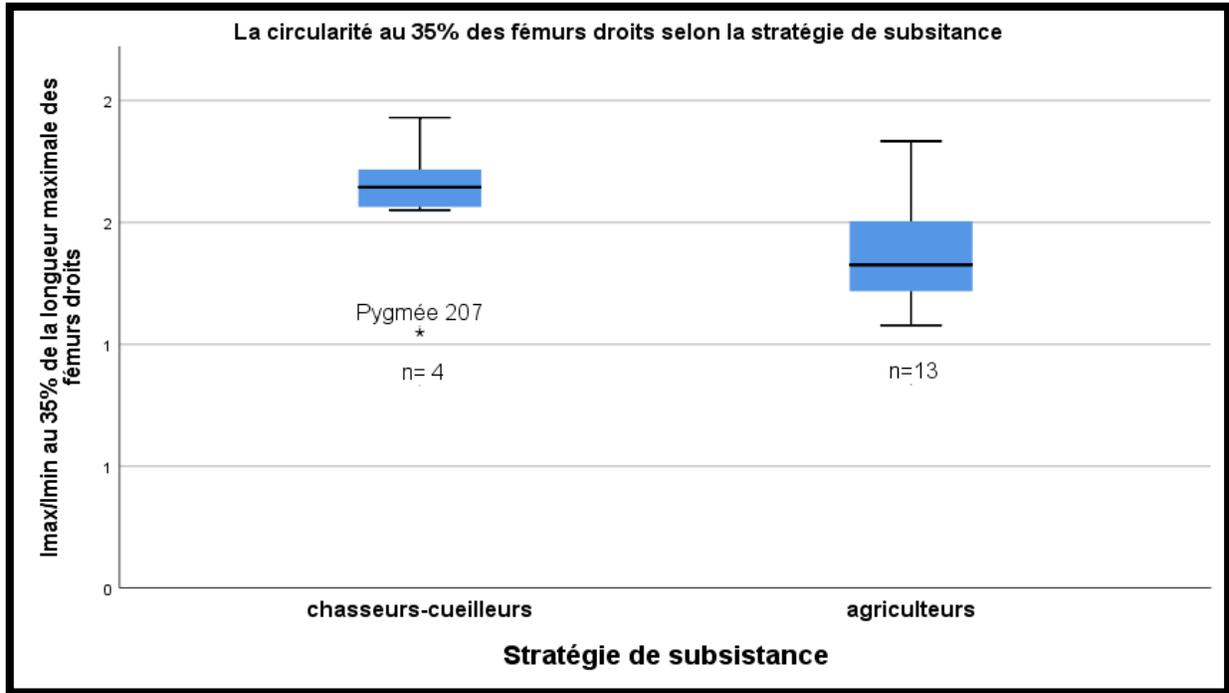


Figure 4.11 I_{max}/I_{min} à 35% de la longueur totale des fémurs droits selon la stratégie de subsistance

4.1.5 Le tibia

Les propriétés osseuses des tibias, comparées entre les deux stratégies de subsistance, présentent quelques différences (tableau 4.5; Annexe 3. Tableau A3.9). La moitié supérieure des tibias gauches est plus rigide pour les chasseurs-cueilleurs et à 35 % des os droits, la distribution osseuse est plus ovale, soit moins uniforme pour les chasseurs-cueilleurs (figures 4.12 à 4.14).

Tableau 4.5 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des tibias standardisés par la longueur selon la stratégie de subsistance (les valeurs significatives sont en gras).

Latéralité	Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
Gauche	20	0,473	0,607	0,113	0,252	0,252
	35	0,653	0,321	0,042	0,074	0,168
	50	0,216	0,216	0,028	0,028	0,287
	65	0,364	0,216	0,110	0,110	0,928
	80	0,164	0,352	0,164	0,252	0,113
Droit	20	0,726	0,362	0,093	0,129	0,942
	35	0,362	0,362	0,942	0,833	0,028
	50	0,364	0,153	0,153	0,153	0,364
	65	0,456	0,287	0,287	0,153	0,804
	80	0,653	0,526	0,321	0,321	0,926

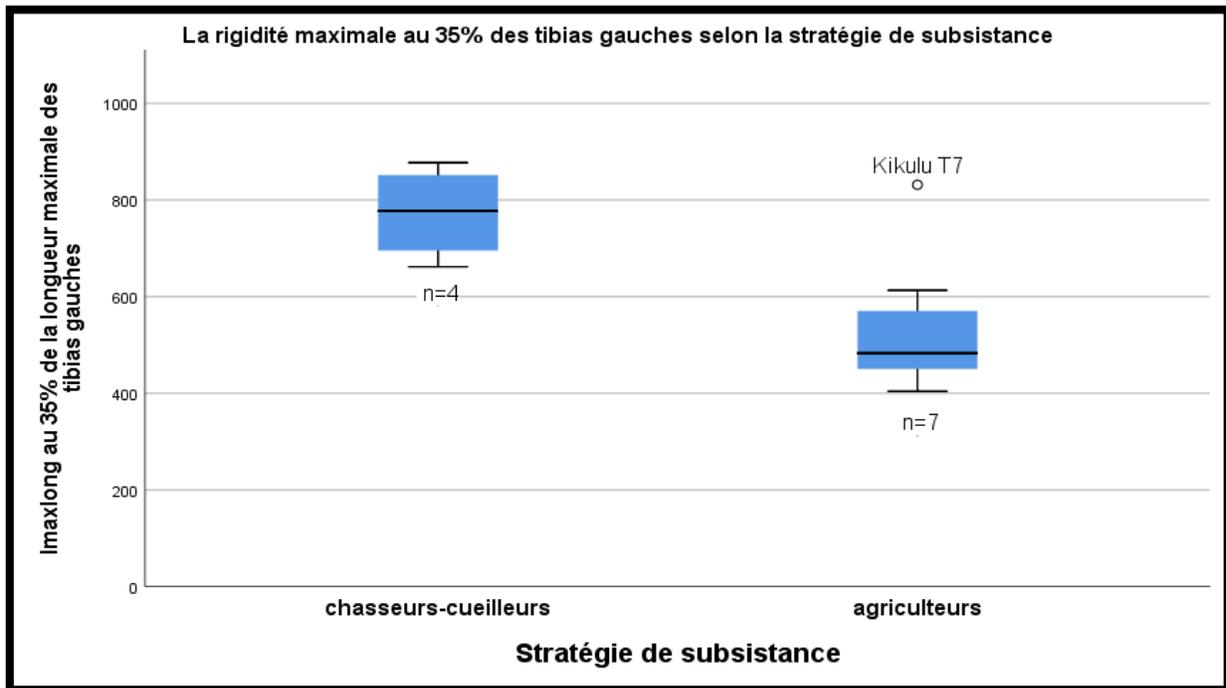


Figure 4.12 I_{max} standardisée par la longueur à 35% de la longueur totale des tibias gauches selon la stratégie de subsistance

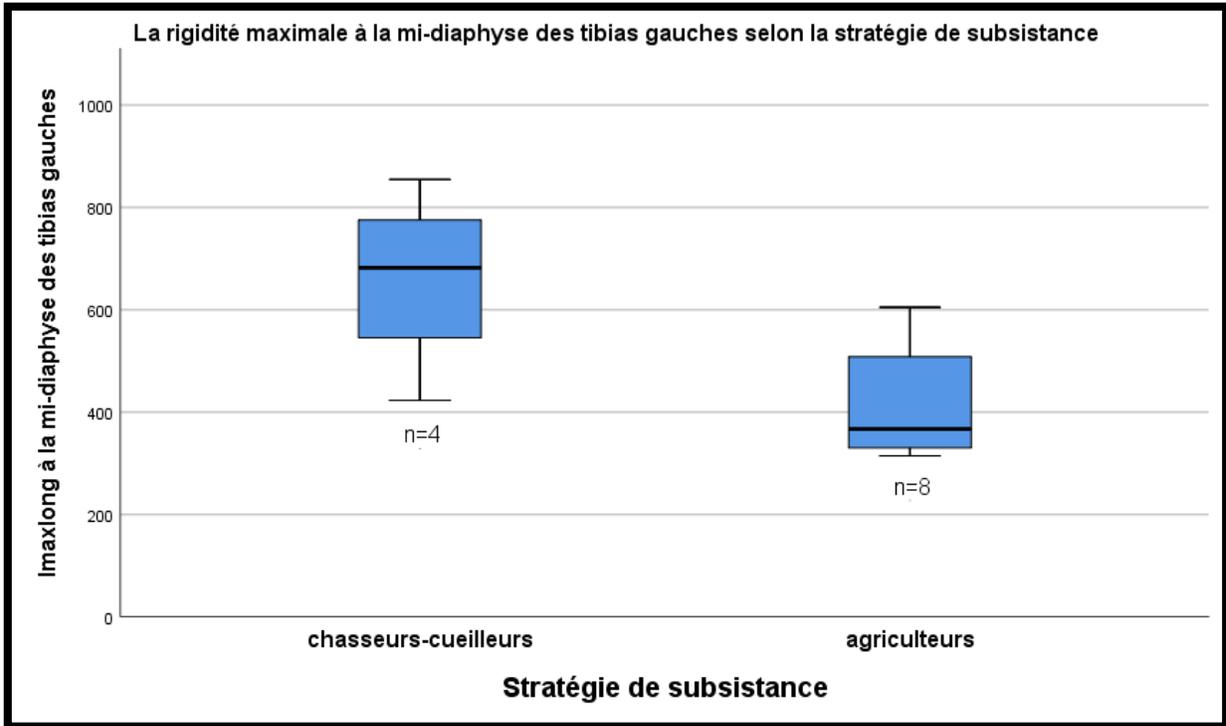


Figure 4.13 I_{max} standardisée par la longueur à la mi-diaphyse des tibias gauches selon la stratégie de subsistance (résultat similaire pour J)

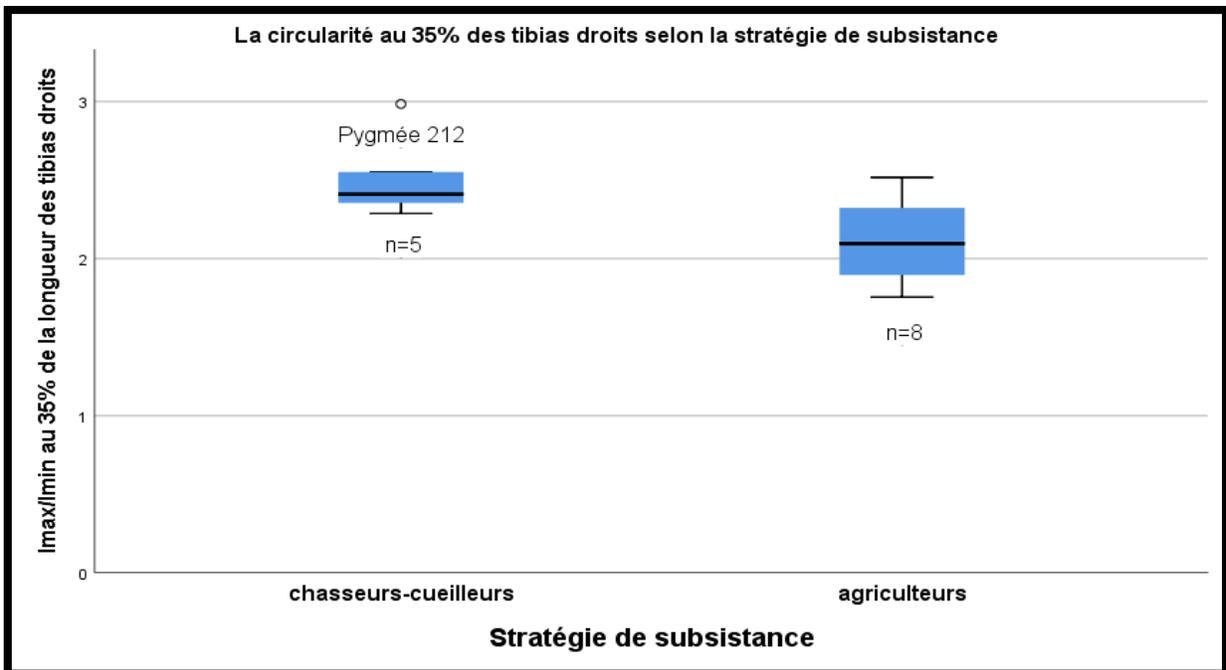


Figure 4.14 I_{max}/I_{min} à 35% de la longueur totale des tibias droits selon la stratégie de subsistance

En conclusion, les valeurs des tibias standardisées par la longueur ou la masse (Annexe 3. Tableau A3.8) ont ici une force et une forme globalement similaires entre ces deux stratégies de subsistance.

4.1.6 La fibula

Les propriétés osseuses des fibulas, testées selon la stratégie de subsistance, ne présentent aucune différence significative (tableau 4.6 ; Annexe 3. Tableau A3.10). Même si les sections distales des fibulas droites, standardisées par la masse, possèdent une résistance et une rigidité minimale qui s’approchent d’une valeur significative (Annexe 3. Tableau A3.10), nos deux communautés partagent une force et une forme osseuse équivalente.

Tableau 4.6 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des fibulas standardisées par la longueur selon la stratégie de subsistance (les valeurs presque significatives ont un astérisque).

Latéralité	Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
Gauche	20	0,930	0,930	0,930	0,930	0,534
	35	0,787	1	0,660	0,787	0,660
	50	0,930	0,534	0,660	0,660	0,534
	65	1	0,917	0,471	0,767	0,254
	80	1	0,345	0,168	0,113	0,917
Droit	20	0,795	0,795	0,646	0,646	0,157
	35	0,609	0,471	0,471	0,345	0,609
	50	0,930	0,646	0,522	0,522	0,646
	65	0,767	0,471	0,254	0,168	0,254
	80	0,501	0,193	0,193	0,129	0,375

4.2 L’environnement

Nos individus ont été regroupés en quatre groupes, qui tiennent compte de la topographie et de l’économie, créant aussi des distinctions temporelles : les chasseurs-cueilleurs-pêcheurs en plaine (Ishango), les chasseurs-cueilleurs-horticulteurs en montagne (Shum Laka), les

agriculteurs en plaine (l'Upemba) et les chasseurs-cueilleurs en forêt ou en terrain légèrement montagneux (les Mbuti).

Le test a privilégié l'analyse des propriétés osseuses selon une stratégie de subsistance et deux milieux, soit les chasseurs-cueilleurs en forêt (Mbuti) et en montagne (Shum Laka), la taille de l'échantillon de ceux de la plaine étant trop petit (n=2).

Dans les cas d'une propriété significative, où les individus sont peu nombreux ($n < 3$), ils ont été inclus dans nos graphiques. De fait, seuls les radius, les ulnas et les fibulas ont pu être analysés.

4.2.1 Le radius

Pour définir l'importance du milieu de vie sur la force osseuse, les radius des individus chasseurs-cueilleurs vivants en forêt (n=4) et en montagne (n=3) ont été étudiés (tableau 4.7). Face à la fragmentation osseuse et au faible échantillon, seule la moitié proximale des radius droits a été analysée. Ce test a révélé que même si le milieu de vie change pour un mode de subsistance, la robustesse de ces individus n'est pas différente. En conséquence, le milieu semble ici ne pas affecter la robustesse de la moitié supérieure des radius droits.

Tableau 4.7 Les valeurs de p du test One-way PERMANOVA de la moitié supérieure des radius droits, standardisés par la longueur, des chasseurs-cueilleurs vivant en forêt et en montagne.

Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
20	0,139	0,8276	0,737	0,7729	0,6883
35	0,8556	0,5639	1	0,9164	1
50	0,8577	0,8257	0,8503	0,8512	0,7155

4.2.2 L'ulna

L'analyse des deux sections proximales des ulnas gauches et de la section proximale des ulnas droits des Mbuti de la forêt (n=4) et des chasseurs-cueilleurs en montagne (n=3) a été réalisée (tableau 4.8). Bien qu'une valeur soit presque significative, aucune différence morphologique n'est ici observée. Ces deux groupes partagent ainsi une même force et forme ulnaire, peu importe leur milieu de vie.

Tableau 4.8 Les valeurs de p du test One-way PERMANOVA de sulnas standardisés par la longueur des chasseurs-cueilleurs vivants en forêt et en montagne (la valeur presque significative a un astérisque).

Latéralité	Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
Gauche	20	1	0,9464	0,6341	0,9724	0,2253
	35	0,9578	0,7169	0,974	0,8265	0,056*
Droit	20	0,9752	0,7383	0,7407	0,7752	0,5543

4.2.3 La fibula

Les propriétés fibulaires¹⁷ des chasseurs-cueilleurs en forêt et en montagne sont semblables, à l'exception d'une propriété osseuse (tableau 4.9). La comparaison des mi-diaphyses et des sections distales des fibulas droites entre les chasseurs-cueilleurs de la montagne (n=3) et de la forêt (n=4) révèle que la mesure CSA à la section distale est significativement plus importante chez les individus de la montagne.

Tableau 4.9 Les valeurs de p du test One-way PERMANOVA des fibulas droites standardisées des chasseurs-cueilleurs en forêt et en montagne.

Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
50	0,2281	0,3911	0,3816	0,3329	0,6536
80	0,0287	0,6272	0,2821	0,5122	0,6036

¹⁷ Ces propriétés n'ont pas pu être standardisées par la masse, car il n'y avait pas assez d'individus.

Bien que le chasseur-cueilleur de la plaine à Ishango n'ait pas pu être testé, il a été inclus dans notre graphique (figure 4.15). Il apparaît que la fibula de cet individu est moins résistante que ceux de la forêt et de la montagne. Bref, le milieu semble affecter l'aire des fibulas distales droites.

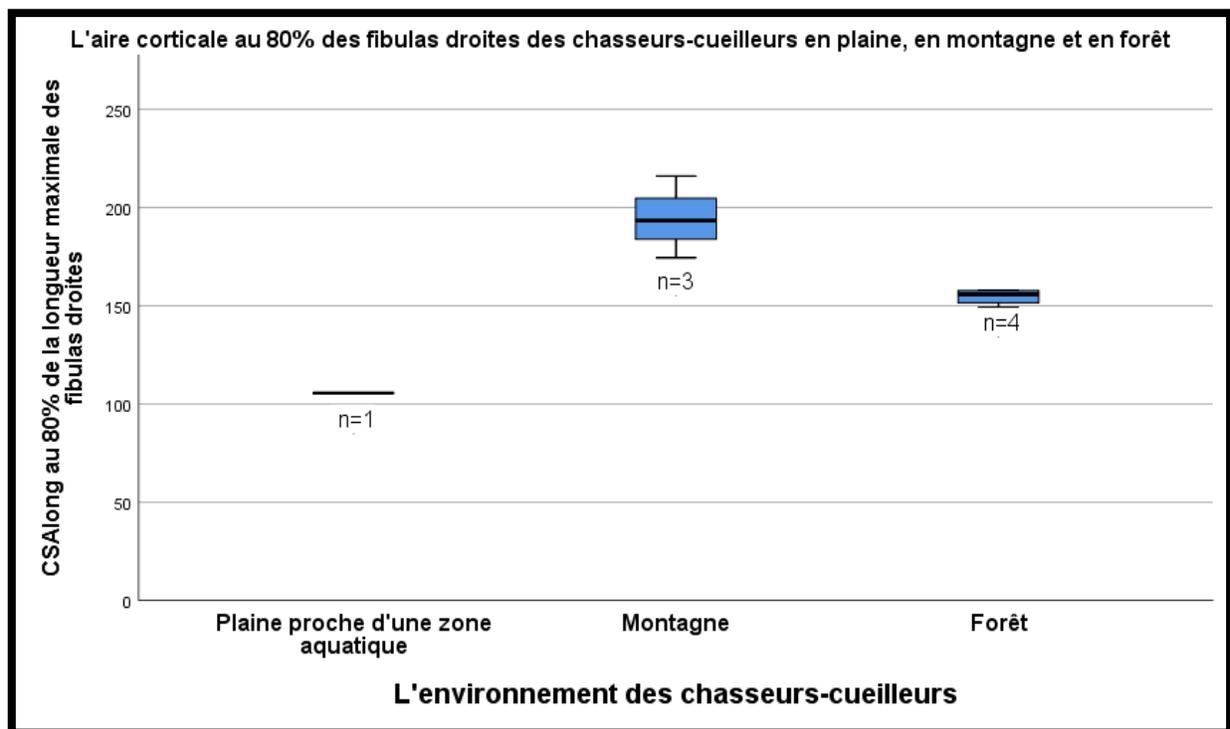


Figure 4.15 CSA standardisée par la longueur à la section distale de la longueur totale des chasseurs-cueilleurs en plaine, en montagne et en forêt.

En conclusion, à l'exception de la moitié inférieure droite où l'aire est différente, les fibulas ont une forme et une force similaire. Elles montrent ainsi que l'environnement n'affecte pas la robustesse osseuse.

Chapitre 5 – Discussion

« Human skeletal robusticity is influenced by a number of factors, including habitual behavior, climate, and physique » (Stock 2006, 194).

Cette recherche avait pour but de mieux comprendre comment les populations d’Afrique centrale se sont adaptées à leur environnement. Plus spécifiquement, elle a tenté de répondre à la question suivante : est-ce que la transition chasseurs-cueilleurs/agriculteurs en Afrique centrale est caractérisée par une réduction de la mobilité et donc de la robustesse ? Pour vérifier cela, deux hypothèses ont été testées. La première suggère que les chasseurs-cueilleurs, plus mobiles, auraient les membres inférieurs plus robustes (1.2) et que les agriculteurs qui travaillent aux champs auraient les membres supérieurs plus robustes (1.1). En outre, pour saisir le principe de robustesse, l’environnement (terrain) qui détermine l’intensité de l’activité est étudié. Effectivement, comme le terrain affecte la morphologie osseuse, la deuxième hypothèse soutient que les individus vivant dans un environnement accidenté auraient des membres inférieurs (2.2) et supérieurs (2.1) plus robustes.

5.1 La stratégie de subsistance

Dans cette section, les individus sont regroupés selon deux stratégies de subsistance, la chasse-cueillette et l’agriculture. Le tableau 5.1 résume les résultats obtenus pour les propriétés des os longs en fonction des stratégies de subsistance.

Tableau 5.1 Les propriétés significativement différentes (ou presque significative) selon le test de Mann-Whitney entre les différentes sections des os longs des chasseurs-cueilleurs (C-C) et des agriculteurs (A).

Mann-Whitney	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
Humérus¹	Proximal gauche A > C-C	Aucune	Aucune	Aucune	Distale droit A > C-C
Radius¹	Mi-diaphyse droite C-C > A	Mi-diaphyse, 65% droit C-C > A	Mi-diaphyse droite C-C > A	Aucune	65% droit A > C-C
Ulna¹	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	65% droit C-C > A
Fémurs²	-20% gauche significatif -35, 50 et 65% gauche presque -20 et 65% droit presque -35, 50 et 80% droit A > C-C	Aucune	Aucune	Aucune	35% droit C-C > A
Tibias²	Aucune	Aucune	¹ 35 % et mi- diaphyse gauche C-C > A	¹ Mi-diaphyse gauche C-C > A	¹ 35% droit C-C > A
Fibulas²	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune

¹Standardisé par la longueur seulement. ²Standardisé par la longueur et la masse

5.1.1 Les membres supérieurs

La première hypothèse 1.1 supposait que les agriculteurs centrafricains qui travaillent aux champs auraient les membres supérieurs plus robustes que les chasseurs-cueilleurs centrafricains, mais les résultats sont plutôt similaires, et lorsqu'une propriété est différente, ce sont plutôt les chasseurs-cueilleurs qui sont plus robustes.

Les agriculteurs de l'Upemba (7^{ème}-18^{ème} siècles) et les Azande (19^{ème} -20^{ème} siècles), tous deux en R.D.C., résidaient à proximité de lacs et travaillaient aux champs. Dans la dépression de l'Upemba, plusieurs harpons et arrêtes de poissons ont été découverts, preuve d'une pratique importante de la pêche (De Maret 2016). Ils pratiquaient aussi la chasse, travaillaient le métal et l'ivoire (Hiernaux 1992). Quant aux Azande, ils pratiquaient aussi la pêche et la chasse, en plus de l'agriculture (Akude et al. 2014). La découverte de têtes de harpons et des pointes de lances à Ishango, un peuple de chasseurs-pêcheurs-cueilleurs (*LSA*) sont les preuves d'une pratique

importante de la pêche, ainsi que du développement d'une technologie de pêche (Brooks et Smith 1987; Brooks et Suchey 1990 ; Crèveœur et al. 2016). Enfin, les chasseurs-cueilleurs de Shum Laka (SMA)¹⁸ pratiquaient une économie mixte (chasse et horticulture), de même que les chasseurs-cueilleurs Mbuti (19^{ème}-20^{ème} siècles) (chapitre 1). De ces faits, toutes nos populations ont ici une utilisation plus ou moins importante et fréquente des membres supérieurs du corps.

Les résultats ont montré que ces deux groupes agriculteurs et chasseurs-cueilleurs partagent globalement une même force osseuse dans leurs membres supérieurs (tableau 5.1). Les humérus et les ulnas n'ont observé que peu de valeurs significatives. Seule la rigidité en flexion (I_{max} , I_{min}) et la rigidité globale (J) des mi-diaphyses radiales droites sont significativement plus grandes chez les chasseurs-cueilleurs, contrairement à ce qui était attendu (tableau 5.1).

Tendance générale : pas de différence

La robustesse des membres supérieurs des chasseurs-cueilleurs et des agriculteurs n'est généralement pas différente. Plusieurs causes peuvent alors justifier cette réponse osseuse. Premièrement, les communautés centrafricaines ont ici une économie mixte. En effet, les activités telles la chasse et la collecte, ajoutées à la pêche et l'horticulture qui demandent une utilisation récurrente des membres supérieurs est observée dans ces populations centrafricaines. En conséquence, toutes sont soumises aux charges mécaniques dans la partie supérieure du corps, ce qui pourrait justifier l'absence de différence significative dans la robustesse des chasseurs-cueilleurs et des agriculteurs. *A contrario*, l'étude réalisée par Ledger et al. (2000) montre que les humérus des individus¹⁹ (surtout les hommes) du 18^{ème} du cimetière de Cobern Street (Cape Town en Afrique du Sud) avaient une robustesse globale (J) plus élevée que chez les chasseurs-cueilleurs du *LSA* ou Khoisans²⁰ et les Sud-Africains actuels (1983-1995). En fait, les individus du cimetière avaient leurs humérus soumis à de fréquentes charges mécaniques dues aux travaux manuels très intenses exercés par ce groupe. D'après le mémoire de Cox

¹⁸ *Stone to Metal Age* : fin de l'âge de la pierre à l'âge du fer

¹⁹ Voilà comment sont décrits les individus présents à Cobern Street : «...slaves, free-blacks, convicts, heretics, and transient soldiers or sailors passing through the colony. These could include people of Asian, East African, Khoisan, or mixed origins» (Cox 1999, 36).

²⁰ Les chasseurs-cueilleurs du *LSA* sont appelés les Khoisans chez Boucher 2012, nous suivrons son exemple.

(1999), les esclaves et les « Free Blacks²¹ » du cimetière de Cobern Street exerçaient des activités économiques comme le travail dans les champs ou le travail domestique. Il semble alors que les groupes modernes et les chasseurs-cueilleurs Khoisans avaient une activité physique moins grande dans la partie supérieure du corps. Par conséquent, nous supposons que l'absence de différence humérale parmi les Centrafricains est causée par une utilisation récurrente et semblable des membres supérieurs par les chasseurs-cueilleurs ainsi que par les agriculteurs.

Deuxièmement, il est possible que les chasseurs-cueilleurs du début de l'Holocène (Ishango et Shum Laka), connus pour être plus robustes, partageaient une robustesse osseuse généralement similaire aux populations modernes agricultrices (Azande et Upemba). D'après Stock et Pfeiffer (2001), les mi-diaphyses humérales sont plus robustes avec CA, I_{\min} , I_{\max} et J chez les Andamanais (Océan Indien) du 19^{ème} siècle que chez les chasseurs-cueilleurs Khoisans du LSA (Annexe 4. Tableau A4.1). Les Andamanais se déplaçaient en canoë, pagayaient constamment et pratiquaient la natation et la pêche, tandis que les Khoisans chassaient et cueillaient leurs aliments sur la terre ferme (Stock et Pfeiffer 2001; Weiss 2003; Stock 2006). Les chasseurs-cueilleurs à mobilité marine (Andamanais) utilisaient donc quotidiennement et intensément leurs membres supérieurs, rendant les humérus des Andamanais plus robustes que ceux des Khoisans. La rigidité (J) de la mi-diaphyse humérale # Ish31 d'Ishango est plus proche des Andamanais (Crèveœur et al. 2016) que des nageurs britanniques étudiés par Shaw et Stock (2013) (Annexe 4. Tableau A4.1). Ainsi, l'individu d'Ishango (#ISH31) partage une morphologie similaire à celle d'une population moderne à mobilité marine.

En Ligurie (Italie), les humérus des communautés au début du Néolithique (J=302,73) étaient plus robustes que les Européens du Paléolithique supérieur, sans être significativement différents (Marchi et al. 2006). En d'autres mots, les membres supérieurs des peuples nomades européens étaient moins sollicités que chez les premiers agriculteurs italiens. Par opposition, la différence de force osseuse entre nos populations centrafricaines anciennes et modernes est

²¹ Il s'agit de « A member of the freed slave community, an ex-convict, ran ex-political prisoner » (Apollonio 1998, vi).

moins importante, ce qui peut être expliqué par la diversité des stratégies économiques. Ils utilisaient les membres supérieurs du corps dans leurs activités quotidiennes, à travers l'espace et le temps. En conséquence, nos analyses révèlent le fait suivant : en Afrique centrale, la nature diversifiée des activités économiques des chasseurs-cueilleurs semble réduire leur différence de robustesse avec les populations d'agriculteurs plus modernes. Ceci nuance un peu les études antérieures qui ont observé un déclin significatif de la robustesse avec l'émergence de l'agriculture et l'accroissement général de la sédentarité à travers l'espace et le temps pour d'autres régions du monde (Marchi et al. 2006; Pinhasi et Stock 2011; Ruff et al. 2015; Ryan et Shaw 2015).

Résultats inattendus : des chasseurs-cueilleurs plus robustes

Cependant, nos analyses ont aussi révélé que les chasseurs-cueilleurs ont une plus grande force à la mi-diaphyse radiale droite face aux agriculteurs. Il est possible que les individus chasseurs-cueilleurs les plus anciens, soit Ishango (n=2) et Shum Laka (n=3) soient plus robustes, car ils reflètent des activités de chasse et de pêche possiblement plus intenses (ex. tirs à l'arc, pêche aux harpons).

En plus, l'échantillon de Shum Laka regroupe un individu de la période préagricole et deux individus de la période agricole. Il est donc possible que la différence de stratégie de ces individus ait biaisé nos résultats. Cependant, l'arrivée de l'horticulture peut aussi avoir influencé de manière minimale la robustesse de ces individus, dans la mesure où la chasse et la collecte sont pratiquées.

Enfin, les plus petites valeurs observées chez les agriculteurs semblent affecter les membres supérieurs en plus des membres inférieurs (ce qui est le signe d'un amoindrissement de la robustesse du corps).

Résultats 'isolés' : faux significatifs

Nos valeurs s'avéraient significatives quand $p \leq 0,05$, avec une marge d'erreur d'un sur 20 (1/20). Cependant, plus les tests effectués sur un petit échantillon sont nombreux²² et plus la probabilité qu'un test soit significatif augmente, causant un « faux significatif ». C'est ce qui est probablement arrivé pour I_{\max}/I_{\min} au 80 % de l'humérus droit et au 65 % de l'ulna droit ; et CSA de l'humérus gauche au 20 % de l'os (tableau 5.1). Dans ces cas, il ne semble pas y avoir eu de différence réelle. Par conséquent, seule la diaphyse droite des radius semble être différente morphologiquement. Ainsi, les chasseurs-cueilleurs semblent avoir les radius droits plus robustes que chez les agriculteurs (tableau 5.1).

5.1.2 Les membres inférieurs

L'hypothèse de recherche 1.2 suppose que les membres inférieurs des chasseurs-cueilleurs, plus mobiles seraient plus robustes que ceux des agriculteurs.

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, les deux groupes ont des économies mixtes. De fait, la mobilité est moins grande pour les chasseurs-cueilleurs et plus importante que prévu pour les agriculteurs. Parmi les chasseurs-cueilleurs, les individus d'Ishango sont des chasseurs-pêcheurs-cueilleurs qui ont avec la recherche constante de ressources aquatiques, une réduction de la mobilité terrestre (Crevecœur et al. 2016). Ensuite, les chasseurs-cueilleurs de Shum Laka, pratiquaient à petite échelle l'horticulture (Orban et al. 2001) se rapprochant d'un mode de vie semi-mobile comme les Mbuti (Bailey et Aunger 1989; Bahuchet 2014). Ces derniers pouvaient ainsi produire et collecter leurs ressources. Pour terminer, nos individus de l'Upemba et l'Azande, produisaient, mais collectaient aussi leurs ressources avec la chasse et la cueillette à un degré moindre²³ (chapitre 1).

²² Chaque variable (cinq) a été analysée sur les cinq sections (20, 35, 50, 65 et 80%) d'un os ce qui a donné un total de 25 tests par os.

²³ Malgré ces points communs, les communautés de chasseurs-cueilleurs sont beaucoup plus mobiles et les agriculteurs sont plus sédentaires.

Les données révèlent que les fémurs des agriculteurs ont une plus grande résistance que les chasseurs-cueilleurs. En outre, lorsque les données des tibias ne sont pas standardisées par la masse corporelle, I_{\max} et J sont plus grands et I_{\max}/I_{\min} est plus ovale dans la partie supérieure des tibias des chasseurs-cueilleurs. Enfin, les fibulas n'observent aucune différence significative entre les deux stratégies de subsistance (tableau 5.1).

Tendance générale : pas de différence

Contrairement à ce qu'attendu pour l'hypothèse 1.2, les deux communautés n'ont pas de différence osseuse significative. La première raison proposée est la variation de la mobilité des chasseurs-cueilleurs en fonction des régions. Les chasseurs-cueilleurs Khoisans et les Inuits étaient « relatively sedentary for hunter-gatherers » (Stock 2006 ; Boucher 2012, 91). Ainsi, les Khoisans ont une robustesse (avec CA et J) à la mi-diaphyse fémorale et tibiale proche de celle des Inuits Saldermiut, qui ont pourtant une mobilité marine (Boucher 2012) (Annexe 4. Tableau A4.1). L'étude de Stock et Pfeiffer (2001) révèle que les Khoisans ont une plus grande robustesse et une forme plus ovale aux fémurs et tibias (CA , I_{\min} , I_{\max} , J et I_{\max}/I_{\min}) par rapport aux Andamanais (Annexe 5. Tableau A5.1). « The Andamanese can be described as having marine mobility and fishing activities » (Radcliffe-Brown 1922, Stock et Pfeiffer 2001, cité dans Crevecoeur et al. 2016, 52). En conséquence, la mobilité terrestre semble ici plus grande chez les Inuits que chez les Andamanais. D'après Shaw et Stock (2013), la rigidité tibiale (J) des Khoisans était plus importante que chez les coureurs modernes de l'Université de Cambridge au Royaume-Uni. Les auteurs soutiennent que cette différence peut « in fact reflect divergent mobility patterns » (Shaw et Stock 2013, 5) et qu'ainsi, ce serait le degré de mobilité qui aurait créé la différence de robustesse entre les coureurs et les Khoisans, deux groupes à mobilité terrestre. En conséquence, selon Shaw et Stock (2013), les Khoisans avaient une mobilité plus intense et plus fréquente par rapport aux coureurs anglais. En revanche, les nageurs modernes de l'Université de Cambridge au Royaume-Uni et les Andamanais, tous deux des groupes à mobilité marine et ayant une activité utilisant fortement la partie supérieure du corps, ont une robustesse moins importante dans leurs membres inférieurs que les Khoisans et les coureurs (Annexe 4. Tableau A4.1).

Par contre, les Inuits, qui ont pourtant une mobilité marine comme celle des Andamanais et des nageurs modernes anglais, ont une mobilité terrestre proche de celle des Khoisans. Il est possible que les longs trajets effectués par les Inuits (Boucher 2012), donc une plus grande mobilité terrestre, justifient la plus grande force osseuse des membres inférieurs par rapport aux nageurs et Andamanais, qui eux utilisent plus fortement la partie supérieure et moins la partie inférieure du corps.

Les Khoisans et les coureurs de l'étude de Shaw et Stock (2013) sont alors comparés à la mi-diaphyse du tibia de l'individu #Ish33 d'Ishango dans Crevecoeur et al. (2016). L'étude révèle que la forme (I_{\max}/I_{\min}) de cet individu est plus proche des sociétés post-industrielles que les chasseurs-cueilleurs et les populations préindustrielles. Elle montre aussi que la rigidité tibiale J se positionne entre les valeurs moyennes des nageurs anglais et des Andamanais, et est plus proche de ces derniers. De ce fait, les individus d'Ishango ont une morphologie bien différente d'un modèle de mobilité terrestre. Par conséquent, si nos chasseurs-cueilleurs centrafricains ont une robustesse équivalente aux agriculteurs, il est possible que ce soit parce que les premiers ont une mobilité moins élevée, leurs membres inférieurs sont alors moins soumis aux charges mécaniques. En effet, la mobilité aquatique des chasseurs-cueilleurs-pêcheurs à Ishango entraîne une faible mobilité terrestre, leurs membres inférieurs sont alors plus graciles. D'après Ruff (2008), les chasseurs-cueilleurs de l'Holocène avaient une division sexuelle du travail, où les femmes étaient moins mobiles que les hommes qui effectuaient de longs et fréquents trajets pour la chasse. Ainsi, la population de Shum Laka, ici représentée par des femmes (l'une âgée et l'autre relativement jeune) et un autre individu de sexe indéterminé, aurait été moins mobile.

Les différentes stratégies de subsistances pratiquées par les Mbuti pourraient donc résulter en des membres inférieurs moins sollicités que supposé. Ainsi, ces chasseurs-cueilleurs centrafricains sont moins mobiles. Enfin, les agriculteurs de l'Upemba et les Azande chassent et pêchent aussi leur nourriture, de façon moins intense que les chasseurs-cueilleurs. Comme les charges mécaniques subies par les chasseurs-cueilleurs semblent comparables à celles des agriculteurs, il est probable que la diversité des stratégies de subsistances réduit la mobilité et entraîne une similarité de la force de leurs membres inférieurs.

Résultats inattendus : des agriculteurs plus robustes

CSA des fémurs est significativement plus importante chez les agriculteurs que chez les chasseurs-cueilleurs. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce résultat inattendu. Tout d'abord, la mobilité terrestre semble impacter la CA fémorale (Stock et Pfeiffer 2001). Dans notre étude, notre première communauté agricole avait aussi une mobilité terrestre. Il est donc possible que la mobilité de ce groupe ait été suffisamment importante pour affecter la résistance osseuse. Une augmentation de notre échantillon nous permettrait de vérifier ce postulat. Il faut ajouter que les petits effectifs, particulièrement pour les chasseurs-cueilleurs (ici les Mbuti, n=4) ne sont pas forcément représentatifs de la robustesse de cette stratégie de subsistance en Afrique centrale. Il semble que, bien que le mode de vie des populations centrafricaines soit diversifié, ce qui n'entraîne pas de différences significatives au niveau de la robusticité osseuse.

Pour finir, le seul groupe de chasseurs-cueilleurs modernes de notre échantillon sont les Mbuti (19^{ème}-20^{ème} siècles), un peuple connu pour leur petite taille (Bahuchet 2014). Ils ont ici une aire corticale fémorale plus petite, proportionnelle à leur taille. Les agriculteurs étant plus massifs sont donc plus robustes. Bien qu'en principe la masse fut prise en compte, il se peut qu'en raison de leur petite taille extrême, que le contrôle de la masse n'ait pas été parfait²⁴, résultant en des valeurs relativement plus petites que ce qui serait normalement attendu avec leur grande mobilité.

Dernier point, il faut noter le petit nombre des populations préhistoriques chasseurs-cueilleurs dans l'échantillon étudié, ainsi que dans des populations actuelles. Ainsi, les premières communautés agricoles (7^{ème}-18^{ème} siècles) ont vécu il y a plus longtemps que nos chasseurs-cueilleurs modernes, partiellement sédentarisés sous l'effet de contacts récents (Bahuchet 2014; Hewlett 2014). En conséquence, les chasseurs-cueilleurs actuels sont possiblement moins mobiles que ceux du passé.

²⁴Une méthode pourrait être développée pour vérifier cela.

Résultats attendus et pourtant...

Seule la moitié supérieure des tibias des populations centrafricaines a répondu à nos attentes, soulignant que J et I_{\max} sont plus importantes chez les chasseurs-cueilleurs (bien que dans ce cas, la masse corporelle ne soit pas prise en compte). Ledger et al. (2000) étudient les tibias des affranchis du 18^{ème} siècle au cimetière de Cobern Street, à Cape Town, qui avaient un J plus proche des Sud-Africains de 1983-1995 par rapport aux Khoisans (Annexe 4. Tableau A4.1). Ces derniers avaient un J significativement plus grand dû à leur plus grande mobilité, par rapport aux deux populations récentes d'Afrique du Sud. Enfin, les individus de Cobern Street étaient plus robustes que les individus de la fin du 20^{ème} siècle à cause d'une activité physique extrême.

De la même façon, la transition des Autochtones américains vers l'agriculture s'accompagne de la gracilisation des membres inférieurs (Püschel et Benitez 2014). Aussi, les tibias des populations de la fin du Paléolithique supérieur en Europe, du Néolithique et de l'âge du fer en Italie étaient plus rigides par rapport aux populations récentes tels les Allemands du moyen-âge et les Britanniques du 21^{ème} siècle, des groupes plutôt sédentaires. Ainsi, les populations préhistoriques ayant une grande mobilité terrestre avaient des os du membre inférieur plus rigides (Sparacello et al. 2014). Ce phénomène biomécanique est aussi observé chez d'autres populations humaines (voir chapitre 2).

Même s'il est aisé de conclure que la diminution de la mobilité des chasseurs-cueilleurs du LSA en Afrique du Sud et des Centrafricains modernes a conduit à une réduction de la robustesse, il faut avant tout évoquer l'absence de résultats significatifs pour les tibias et fibulas lorsque la masse corporelle est incluse. En fait, l'absence de résultats significatifs pour les fibulas et tibias peut aussi s'expliquer par une sollicitation mécanique de même intensité pour les deux groupes et/ou par un biais dû à un petit échantillon.

Résultats 'isolés' : faux significatifs

Comme pour les membres supérieurs, un faux significatif semble être apparu à cause du grand nombre de tests réalisés pour ce petit échantillon. Soit, pour I_{\max}/I_{\min} du tibia droit et du fémur droit au 35 % de l'os. En d'autres mots, ces résultats ne semblent pas représenter une différence

osseuse. Par conséquent, seul CSA des fémurs semble plus importante chez les agriculteurs que les chasseurs-cueilleurs.

5.2 L'environnement

Les populations ont été regroupées de la façon suivante : les chasseurs-cueilleurs-pêcheurs d'Ishango en plaine à proximité d'un lac en R.D.C., les chasseurs-cueilleurs-horticulteurs de Shum Laka en montagne au Cameroun, et enfin, les chasseurs-cueilleurs Mbuti de la forêt d'Ituri (en région Irumu) sur un terrain légèrement montagneux, en R.D.C. Finalement, seuls les chasseurs-cueilleurs de la forêt et la montagne sont comparés, l'autre catégorie (Ishango en plaine) ayant un effectif trop petit. Le tableau 5.2 résume les valeurs des chasseurs-cueilleurs en forêt et à la montagne.

Tableau 5.2 Les propriétés significatives du test One-way PERMANOVA des os longs standardisés par la longueur selon les environnements (forêt (F) et montagne (M)) des Chasseurs-cueilleurs.

PERMANOVA	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
Radius	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
Ulna	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
Fibulas	Distale droite M > F	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune

Les fibulas étaient trop peu nombreuses pour être standardisées par la masse

5.2.1 Les membres supérieurs

L'hypothèse de recherche 2.1 suggère que les individus d'un milieu plus demandant physiquement auraient les membres supérieurs plus robustes.

Parmi nos deux populations de chasseurs-cueilleurs analysées, les chasseurs-cueilleurs-horticulteurs du SMA de Shum Laka chassaient, collectaient et produisaient leurs ressources dans un milieu montagneux, où la forêt et la savane se côtoyaient. Les Mbuti (19^{ème}-20^{ème}

siècles) de la forêt d'Ituri appartiennent à un peuple qui chasse à l'arc, travaille la terre, grimpe aux arbres pour collecter du miel et interagit avec les agriculteurs.

Les données des membres supérieurs ne montrent aucune différence morphologique. L'humérus n'a pas pu être testé, et les radius droits et ulnas analysés entre les chasseurs-cueilleurs de la montagne et de la forêt n'ont présenté aucune différence significative (tableau 5.2).

Tendance générale : pas de différence

D'après Stock et Pfeiffer (2004), les ulnas (mi-diaphyse) et humérus (mi-distale) des Khoisans étaient plus robustes (avec CA et J) sur la côte qu'en forêt. Selon cette étude (Stock et Pfeiffer), on observe un plus grand dimorphisme sexuel. Sur la côte, les hommes comme les femmes collectent des aliments, comme les coquillages. Tandis qu'en forêt, les femmes collectent des aliments et les hommes chassent.

Ainsi, la forêt entraîne un modèle de comportements distincts selon le sexe, qui rejaillit sur la structure osseuse des Khoisans (Annexe 4. Tableau A4.1). D'autres chercheurs ont aussi étudié l'effet du milieu pour les Khoisans (Cameron et Pfeiffer 2014; Cameron et Stock 2018). Les valeurs des sections mi-distales des humérus des chasseurs-cueilleurs de la vallée intérieure des terres sont plus élevées pour J que celles du milieu forestier et côtier. Le climat semi-aride à l'intérieur des terres, la recherche de ressources alimentaires pour les deux sexes étaient plus ardues, mais moins sur la côte et en forêt (Cameron et Pfeiffer 2014). Cependant, le manque de résultats significatifs pour ces trois milieux suggère que l'intensité des activités physiques n'était pas si différente. De ce fait, nos populations centrafricaines semblent suivre ici un même modèle morphologique. En effet, les différences environnementales, sont présentes, mais associées ici à une mixité des stratégies économiques. Il semblerait que les variations ne soient pas assez importantes pour différencier les charges mécaniques des membres supérieurs. En conséquence, les similitudes du comportement ou l'intensité de l'activité malgré les différents milieux peuvent expliquer nos résultats.

L'autre point qui explique la robustesse des chasseurs-cueilleurs centrafricains, est la surreprésentation des femmes dans l'échantillon global. Ces dernières, qui sont plus nombreuses que les hommes (deux femmes et un indéterminé à Shum Laka, deux femmes et deux hommes Mbuti), devaient collecter des plantes comme dans plusieurs sociétés de type chasseurs-cueilleurs (Stock et Pfeiffer 2004; Ruff 2008). Cependant, les femmes Mbuti participaient aussi à la chasse en plus de cueillir des plantes. On suppose alors que la mixité de leur stratégie peut justifier l'absence d'une différence morphologique entre les deux groupes. En outre, si les femmes avaient le même comportement dans ces communautés, leur surnombre pourrait justifier la structure osseuse de nos chasseurs-cueilleurs, indépendamment du milieu écologique.

Justement, l'analyse de Stock et Pfeiffer (2004) et de Cameron et Pfeiffer (2014) révèle que les femmes en forêt et sur la côte (Fynbos) ont un comportement similaire (telle la collecte des coquillages et des racines avec des bâtons de creusement, et la transformation de graines à l'aide des pilons et mortiers), ce qui justifie le peu de différence morphologique de ces femmes. En revanche, d'après Cameron et Stock (2018), J aux sections mi-distales des humérus des femmes est plus élevé dans le désert du Namib (au sud-ouest de la Namibie) et au centre du pays par rapport à celles résidant sur la côte (Afrique du Sud) qui travaillent la terre. Lors du déterrement des plantes et de leurs transformations, la dureté du sol soumet les humérus à de grandes et constantes charges mécaniques, même si seule la robustesse globale (J) des humérus gauches des femmes est significativement plus forte dans le désert par rapport à la vallée (Annexe 4. Tableau A4.1). Bien que nos données culturelles ne soient pas aussi riches pour les activités des femmes chasseuses-cueilleuses centrafricaines, nous pouvons supposer que leurs comportements pouvaient être similaires entre les divers milieux.

Bref, la variation au sein des différents milieux peut expliquer l'absence de différences morphologiques obtenues entre les membres supérieurs des divers groupes. La sollicitation mécanique quotidienne et le recours fréquent aux membres supérieurs expliquent l'absence d'une différence dans la forme et la force.

Données non incluses

À cause du petit effectif, les chasseurs-cueilleurs d'Ishango (n=2), à mobilité aquatique ou lacustre, n'ont pas pu être analysés. En outre, en observant les valeurs moyennes des individus présents, les individus d'Ishango au terrain plat ont une rigidité plus proche des populations modernes de chasseurs-cueilleurs, ce qui est cohérent avec l'étude de Crevecoeur et al. (2016). En effet, les individus d'Ishango sont plus graciles, comme les individus modernes après l'apparition de l'agriculture (Annexe 4. Tableau A4.1). Il a d'ailleurs été observé que les groupes ayant une mobilité aquatique, donc vivant à proximité d'une surface d'eau, avaient les membres supérieurs plus robustes. L'utilisation fréquente des bateaux pour la pêche et la natation cause ici une robustesse plus grande des membres supérieurs par rapport aux groupes à mobilité terrestre (Stock et Pfeiffer 2001; Weiss 2001; Boucher 2012; Shaw et Stock 2013).

5.2.2 Les membres inférieurs

L'hypothèse de recherche 2.2 testée est la suivante : un terrain accidenté et une grande mobilité rendraient les membres inférieurs plus robustes.

Dans notre cas, les deux communautés de chasseurs-cueilleurs vivaient en forêt et en montagne, soit des terrains considérés comme accidentés.

Parmi nos membres inférieurs, seule la fibula droite a été observée et seule CSA s'est révélé significativement différente. De fait, il semblerait que les fibulas droites de ces deux milieux partagent généralement la même robustesse (tableau 5.2).

Tendance générale : pas de différence

La robustesse des membres inférieurs des chasseurs-cueilleurs, très mobile sur un terrain accidenté, est plus grande que sur un terrain plat (Boucher 2012). Dans notre cas, les propriétés représentant la rigidité fibulaire ne sont pas différentes statistiquement entre la montagne et la forêt. Plusieurs raisons semblent justifier cette morphologie. Lorsque Stock et Pfeiffer (2004)

étudient les fémurs et tibias des Khoisans, les femmes de la forêt très mobiles sont plus robustes (avec CA et J) que sur la côte du Cap (Annexe 4. Tableau A4.1). De fait, la grande mobilité et le terrain accidenté de la forêt par rapport au terrain plat de la côte causent une plus grande robustesse. L'étude de Cameron et Pfeiffer (2014), qui compare la force fémorale révèle que les femmes chasseuses-cueilleuses en forêt ont des fémurs plus robustes (avec J) que celles de la côte et dans la basse vallée (intérieur des terres) en Afrique du Sud (*LSA*). La forêt montagneuse est alors un milieu au terrain inégal qui affecte leurs morphologies. Puis, Cameron et Stock (2018) déclarent que la mi-diaphyse des fémurs était significativement plus robuste (J) sur la côte du Cap, qu'à l'intérieur des terres et le désert du Namib. La difficulté de se déplacer sur un terrain ardu au Cap a rendu leurs fémurs plus rigides.

En revanche, pour les chasseurs-cueilleurs centrafricains, le terrain (montagne et forêt) est accidenté dans les deux cas, l'intensité des charges mécaniques reçues est alors élevée pour ces deux populations. En conséquence, le terrain légèrement montagneux de la forêt d'Ituri des Mbuti et le doux relief de la montagne à Shum Laka peuvent justifier cette similarité. En second lieu, la mobilité des individus de Shum Laka (ici les femmes) et des Mbuti est moins grande que prévu avec la mixité des stratégies économiques (chapitre 1). En troisième lieu, la mobilité moins grande des femmes chasseurs-cueilleurs (Ruff 2008), qui sont majoritaires dans ce test, peut expliquer l'absence de différence morphologique des individus de nos deux milieux, étant donné que leurs membres inférieurs étaient moins soumis aux charges mécaniques.

En Afrique du Sud, le terrain influence la robustesse des chasseurs-cueilleurs. Il est vrai que dans ces exemples, tous ont vécu au début de l'Holocène, où la mobilité était plus grande, avant l'arrivée de l'agriculture. Notre étude présente ici une analyse avec un groupe qui correspond (en partie) à ce critère, pour un individu de Shum Laka, et une population moderne, les Mbuti. Cependant, la robustesse ne semble pas avoir décliné.

Généralement, les fémurs et les tibias (mi-diaphyse), très affectés par la mobilité et le terrain, sont les plus étudiés pour les membres inférieurs (Stock 2006; Wescott 2006; Friel et al. 2016). Cependant, par manque de données, il nous est impossible de tester ces deux os entre ces deux milieux. C'est l'une des raisons qui pourrait expliquer l'absence de différence morphologique des populations à l'étude.

Une seule variable significative : l'aire corticale

CSA de la fibula droite est plus grande en montagne qu'en forêt. Cependant, il s'agit d'une seule valeur significative (Annexe 4. Tableau A4.11). Néanmoins, Sparacello et al. (2014) affirme que la résistance des fibulas est influencée par les terrains inégaux. En effet, la grande mobilité et la topographie plus accidentée stimulent la rigidité de l'os des peuples de la fin de Pléistocène, du Néolithique et de l'âge de fer en Italie, alors que pour les populations plus sédentaires et des terrains plats, les fibulas sont moins rigides. Boucher (2012) révèle aussi que la neige qui recouvrait l'île de Southampton, au Canada, sur les côtes raides d'un plateau favorisait une plus grande résistance (CA) des membres inférieurs chez les Inuits par rapport aux Khoisans. Les Inuits faisaient de longs treks sur un terrain difficile, en plus de leur mobilité marine.

Résultat 'isolé' : faux significatif

Comme soulevé dans la section 5.1, il est fort probable que l'unique valeur à s'être révélée significatif est un faux significatif. La différence significative pour CSA de la fibula droite au 80 % de l'os, est donc le fruit du nombre de tests réalisés par rapport au faible échantillon et non d'une réelle différence osseuse. Par conséquent, les chasseurs-cueilleurs n'ont semble-t-il pas de différence osseuse selon l'environnement.

5.3 Limites de la recherche

La stratégie de subsistance

Il est possible que la surreprésentation des individus modernes par rapport aux individus anciens, ou la surreprésentation des agriculteurs par rapport aux chasseurs-cueilleurs aient créé un biais dans l'analyse de nos tests statistiques des membres supérieurs et inférieurs (Annexe 3. Tableau A3.1 à A3.6). Pour les radius, il est difficile d'interpréter ces résultats, dans la mesure où ce petit effectif n'est pas représentatif de la robustesse de nos groupes centrafricains (chasseurs-cueilleurs : n=9 et agriculteurs: n=5).

L'environnement

Le manque de données humérales et la fragmentation des radius et des ulnas nuisent à l'étude de la robustesse des membres supérieurs selon le milieu. Un échantillon plus grand et la présence de fémurs et tibias permettraient de mieux cerner le rôle du terrain et du comportement quotidien des Centrafricains. Parmi nos fibulas, très peu d'individus et de sections ont pu être étudiés pour observer l'influence du terrain sur ces populations. À partir des résultats de cette étude, l'influence du terrain sur des membres inférieurs et supérieurs, quoique possible, est à révéfier dans le futur.

En conclusion, la taille et la composition de l'échantillon posent un problème dans l'interprétation de nos données.

Conclusion

Nous avons ici exploré la robustesse des membres supérieurs (humérus, radius et ulna) et inférieurs (fémurs, tibias et fibulas) des agriculteurs et des chasseurs-cueilleurs en Afrique centrale. Nous avons aussi analysé la robustesse des chasseurs-cueilleurs dans différents milieux comme la forêt et la montagne. Le but était de voir si la transition chasseurs-cueilleurs/agriculteurs pouvait entraîner une réduction de la mobilité et de la robustesse, tel que suggéré par plusieurs études effectuées sur les chasseurs-cueilleurs sud-africains et à travers le monde.

Contre toute attente, les deux groupes se sont avérés avoir une robustesse quasi-similaire, à quelques exceptions. Bons nombres d'entre eux partageaient certaines activités liées aux stratégies de subsistances, ce qui pourrait expliquer l'absence de différence significative. Les premières populations agricoles de l'Upemba (7^{ème}-18^{ème} siècles) et les Azande (19^{ème}-20^{ème} siècles) pourtant sédentaires n'avaient pas renoncé au système de chasse, de pêche et de cueillette. Ainsi, elles restaient en partie mobiles à petite échelle, même si la hiérarchie sociale faisait en sorte que seuls certains se dédiaient plus fréquemment aux activités économiques plus manuelles (ex. forgeron). C'est ici un changement social et économique progressif qui exerce certainement une modification morphologique graduelle, donc moins visible. D'un autre côté, les populations de chasseurs-cueilleurs (Shum Laka, Ishango et les Mbuti) étaient plus mobiles, mais tant les anciennes comme les récentes, avaient recours à des stratégies de subsistances telles que l'horticulture.

La faiblesse de l'échantillon a desservi notre analyse. L'effectif des agriculteurs était souvent plus grand que celui des chasseurs-cueilleurs. Globalement, peu d'os longs ont été entièrement préservés, les cinq populations ont alors été représentées de manière très inégale. Puis, l'effectif des populations anciennes par site était très petit. Par exemple, les individus d'Ishango au *LSA* n'étaient que deux, donc fort peu représentatifs de la robustesse de cette communauté et de cette période. Enfin, la fragmentation osseuse a empêché l'étude d'un même individu d'un membre à l'autre et d'une section à l'autre. De plus, la fragmentation des têtes fémorales, a empêché

d'avoir suffisamment de données standardisées par la masse corporelle, essentielles dans l'étude de la robustesse des membres inférieurs (chapitre 3).

L'amélioration de l'échantillon par l'ajout d'individus chasseurs-cueilleurs actuels et passés, ainsi que d'agriculteurs, permettrait d'améliorer et de mieux cerner la variation de la robustesse osseuse centrafricaine (voir humaine). De fait, un échantillon plus grand et plus uniforme faciliterait nos observations.

L'étude des populations récentes, nous permettrait de mieux cerner le comportement en fonction de l'activité et des conditions de vie des individus. Il serait alors plus aisé de déterminer les effets du mouvement sur l'os et pertinent de définir les postures lors de la chasse et la domestication, pour mieux interpréter la réponse osseuse.

Analyser la rigidité osseuse, c'est se demander quels sont les éléments qui dans le corps participent à la charge mécanique. Selon certains, plus que l'activité portante, c'est la charge du muscle qui est absorbée par l'os (Eros 1997, cité dans Stock 2006), qui crée cette robustesse osseuse. En d'autres mots, étudier les insertions musculaires aux sections testées permettrait de mieux saisir le rôle de l'activité physique et des changements du comportement social.

Le déclin de la robustesse avec l'agriculture n'est pas que le fruit de l'activité. « Stature and skeletal robusticity may not have followed the same trajectory during the transition to agriculture, particularly as skeletal robusticity can vary significantly among individuals due to forces other than nutrition » (Larsen 1997, cité dans Mummert et al. 2011, 289). Il est vrai que l'os répond aux charges mécaniques, cependant « It must always be remembered, though, that skeletal morphology is in some sense a compromise between mechanical and other influences » (Ruff et al. 2006a, cité dans Ruff 2008, 184). Comme le dit Ruff (2008) l'âge, le sexe, les hormones, les maladies, l'alimentation et la génétique agissent via les muscles sur la structure osseuse. Par conséquent, lorsque nous étudions la rigidité, tous participent à son accroissement ou à sa diminution. En d'autres mots, pour véritablement comprendre les mécanismes de la robustesse d'autres facteurs sont à considérer.

En conclusion, ce mémoire nous a permis d'aborder l'approche écomorphologique dans l'étude de quelques sociétés humaines. Ces ossements humains qui appartiennent à un environnement varié et aux multiples comportements, nous permettent d'observer la richesse des groupes dans une seule région, l'Afrique centrale, et de nuancer la dichotomie agriculteurs versus chasseurs-cueilleurs qui n'est pas toujours visible, selon nos résultats sur la robustesse. Ce sont ici les premières données biomécaniques recueillies dans cette région et dans un cadre temporel assez large (de la fin de l'âge de la pierre au 20^{ème} siècle). Elles amènent des informations uniques, sur la robustesse, car très peu d'études de ce type avaient été effectuées jusqu'à présent dans cette région du monde.

Bibliographie

- Akude Jean de Dieu, Elodie Stroobant, Charles Kumbatulu Akude, Mathieu Zana Etambala, Jean Tshonda Omasombo, Edwine Simons, Joris Krawczyk et Mohamed Laghmouch. 2014. « Les peuples et les langues ». Dans *BAS-UELE. Pouvoir locaux et économie agricole : héritages d'un passé brouillé*. Sous la direction de Jean Omasombo Tshonda, 55-88. Tervuren : Musée royal de l'Afrique centrale.
https://www.africamuseum.be/sites/default/files/media/docs/research/publications/rmca/online/monographies-provinces/bas-uele_web.pdf
- Albert, A. M. et Maples, W. R. 1995. « Stages of Epiphyseal Union for Thoracic and Lumbar Vertebral Centra as a Method of Age Determination for Teenage and Young Adult Skeletons ». *Journal of Forensic Science* 40 (4) : 623-633.
<https://doi.org/10.1520/JFS13838J>.
- Alfonso-Durruty, Marta, Bretton T. Giles, Manuel San Román et Flavia Morello. 2017. « Assessment of an east-west phenotypic variation in body height, body form and body mass among prehistoric hunter-gatherers of Patagonia and Tierra Del Fuego ». *Chungara* 49 (4) : 623-634. [https://doi: 10.4067/S0717-73562017005000112](https://doi:10.4067/S0717-73562017005000112).
- Apollonio, Heather. 1998. « Identifying the Dead: Eighteenth Century Mortuary Practices at Cobern Street, Cape Town ». Mémoire de M. A., University of Cape Town.
<http://hdl.handle.net/11427/10041>.
- Bahuchet, Serge. 2012a. « Changing language, remaining Pygmy ». *Human Biology* 84 (1) : 11-43. doi: [10.3378/027.084.0101](https://doi.org/10.3378/027.084.0101).
- Bahuchet, Serge. 2012b. « Pygmées ou « Pygmées? » Quelques étapes pour une meilleure compréhension du complexe des communautés sylvestres d'Afrique centrale ». *Journal des africanistes* 82 (1/2) : 5-14. <https://doi.org/10.4000/africanistes.4251>.
- Bahuchet, Serge. 2014. « Cultural Diversity of African Pygmies ». Dans *Hunter-Gatherers of the Congo Basin: Cultures, Histories and Biology of African Pygmies*. Sous la direction

- de Barry S. Hewlett, 1-29. New Brunswick, NJ: Transaction Publishers.
doi:[10.4324/9780203789438-1](https://doi.org/10.4324/9780203789438-1).
- Bahuchet, Serge, Doyle McKey et Igor de Garine, I. 1991. « Wild yams revisited: Is independence from agriculture possible for rain forest hunter-gatherers? ». *Human Ecology* 19 (2) : 213-243.
<https://doi.org/10.1007/BF00888746>.
- Bahuchet, Serge et Henri Guillaume. 1982. « Aka-farmer relations in the Northwest Congo Basin. Politics and history in band societies ». Dans *Politics and history in band societies*. Sous la direction de E. Leacock et R. Lee, 189-211. Cambridge : Cambridge University Press ; Paris: Editions de la maison des Sciences de l'homme.
- Bailey, Robert C. et Robert Jr. Auger. 1989. « Net hunters vs. archers: variation in women's subsistence strategies in the Ituri forest ». *Human Ecology* 17 (3) : 273-297.
<http://www.jstor.org/stable/4602926>.
- Barr, Andrew W. 2018. « Ecomorphology ». Dans *Methods in Paleoecology: Reconstructing Cenozoic Terrestrial Environments and Ecological Communities*. Sous la direction de Darin A. Croft, Denise F. Su et Scott W. Simpson, 339-49. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94265-0_15.
- Bayon, Germain, Bernard Dennielou, Joël Etoubleau, Emmanuel Ponzevera, Samuel Toucanne et Sylvain Bermell. 2012. « Intensifying Weathering and Land Use in Iron Age Central Africa ». *Science* 335 (6073) : 1219-1222.
<https://doi.org/10.1126/science.1215400>.
- Becker, Damien., Mélina Dini et Laureline Scherler. 2015. « Rhinocéros laineux du Pléistocène supérieur d'Ajoie (Canton du Jura, Suisse) : description anatomique et implications écologiques ». *Revue de Paléobiologie* 34 (1) : 27-44. http://institutions.ville-geneve.ch/fileadmin/user_upload/mhn/documents/Museum/Revue_de_Paleo/27_44_Becker_et_al.pdf

- Becker, Noémie S.A., Paul Verdu, Alain Froment, Sylvie Le Bomin, Hélène Pagezy, Serge Bahuchet et Evelyne Heyer. 2011. « Indirect evidence for the genetic determination of short stature in African Pygmies ». *American Journal of Physical Anthropology* 145 (3) : 390-401. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21512>.
- Becker, Noémie S.A., Paul Verdu, Myriam Georges, Philippe Duquesnoy, Alain Froment, Serge Amselem, Yves Le Bouc et Evelyne Heyer. 2013. « The role of GHR and IGF1 genes in the genetic determination of African pygmies' short stature ». *European Journal of Human Genetics* 21 (6) : 653-658. doi:10.1038/ejhg.2012.223.
- Betti, Lia, Norren Von Cramon-Taubadel et Stephen J. Lycett. 2012. « Human pelvis and long Bones Reveal Differential preservation of Ancient Population History and Migration Out of Africa ». *Human biology* 84 (2) : 139-152.
<http://www.jstor.org/stable/23265989?seq=1#>
- Bostoen, Koen. 2018. « The Bantu expansion ». *Oxford research encyclopedia of African history* : 1-28. doi: 10.1093/acrefore/9780190277734.013.191.
- Bostoen, Koen, Bernard Clist, Charles Doumenge, Rebecca Grollemund, Jean-Marie Hombert, Joseph Koni Muluwa et Jean Maley. 2015. « Middle to Late Holocene Paleoclimatic Change and the Early Bantu Expansion in the Rain Forests of Western Central Africa ». *Current Anthropology* 56 (3) : 354-384. DOI : [10.1086/681436](https://doi.org/10.1086/681436)
- Boucher, Kaye-Lynn. 2012. « A Comparative Ontogenetic Study of Biomechanical Adaptations in the Long Bones of South African Khoisan and Sadlermiut Inuit ». Thèse de doctorat, University of Western Ontario. <https://ir.lib.uwo.ca/etd/1019>.
- Briot, Karine. 2009. « Macroarchitecture et résistance osseuse : rôle de l'os cortical ». Thèse de doctorat, Université d'Orléans. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00485695/document>
- Brooks, A. et C. Smith. 1987. « Ishango revisited: new age determinations and cultural interpretations ». *Afr. Archeol. Rev* 5 : 65-78. <https://doi.org/10.1007/BF01117083>.

- Brooks, S. et J. M. Suchey. 1990. « Skeletal age determination based on the os pubis: A comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods ». *Human Evolution* 5 (3) : 227-238. <https://doi.org/10.1007/BF02437238>.
- Bruzek, Jaroslav. 2002. « A method for visual determination of sex, using the human hip bone ». *American Journal Physical Anthropology* 117 : 157-168. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10012>.
- Bruzek, Jaroslav, Frédéric Santos, Bruno Dutailly, Pascal Murail et Eugenia Cunha. 2017. « Validation and reliability of the sex of human os coxae using freely available DSP2 software in bioarcheology and forensic anthropology ». *American Journal Physical Anthropology* 164 (2) : 440-449. doi: 10.1002/ajpa.23282.
- Buikstra, Jane E. et Douglas H. Ubelaker. 1994. *Standards for data collection from human skeletal remains*. Fayetteville: Arkansas Archeological Survey. <https://doi.org/10.1002/ajhb.1310070519>.
- Byers, Sandra E. 2005. « Relationship Satisfaction and Sexual Satisfaction: A Longitudinal Study of Individuals in Long-Term Relationships ». *Journal of Sex Research* 42 (2) : 113–118. <https://doi.org/10.1080/00224490509552264>.
- Cameron, Michelle E. et Jay T. Stock. 2018. « Ecological variation in later stone Age southern African biomechanical properties ». *Journal of Archeological Science* 17 : 125-136. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.10.033>.
- Cameron, Michelle E. et Susan Pfeiffer. 2014. « Long bone cross-sectional geometric properties of later stone age foragers and herder-foragers ». *South African Journal of Science* 110 (9-10) : 1-11. doi: 10.1590/sajs.2014/20130369.
- Campbell, Ryan. 2018. « Shifting Patterns of Limb Strength among Plains Village Horticulturalists: A Critical Examination of the Use of Cross-Sectional Geometry to Understand Cultural Change ». Thèse de doctorat, Southern Illinois University Carbonale. <https://opensiuc.lib.siu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2590&context=dissertations>.

- Clist, Bernard. 1990. « Des derniers chasseurs aux premiers métallurgistes : sédentarisation et débuts de la métallurgie du fer (Cameroun, Gabon, Guinée équatoriale) ». Dans *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*. Sous la direction de Raymond Lanfranchi et Dominique Schwartz, 458-478. Paris: ORSTOM.
https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/34762.pdf
- Cornelissen, Els. 2002. « Human Responses to Changing Environments in Central Africa Between 40,000 and 12,000 B.P. ». *Journal of World Prehistory* 16 (3) : 197-235.
<https://doi.org/10.1023/A:1020949501304>.
- . 2013. « Hunting and Gathering in Africa's Tropical Forests at the End of The Pleistocene and in the Early Holocene ». Dans *The Oxford Handbook of African Archaeology*. Sous la direction de Peter Mitchell et Paul J. Lane, 1-18. Oxford : Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199569885.013.0028>.
- Coupé, Christophe, Jean-Marie Hombert, Florent Le Néchet, Hélène Mathian, et Lena Sanders. 2017. « Modélisation de l'expansion des populations Bantu dans un espace déjà habité par des populations de chasseurs-collecteurs ». Dans *Peupler la terre. De la préhistoire à l'ère des métropoles*. Sous la direction de Lena Sanders, 143-172. Paris : Presses universitaires François-Rabelais.
<https://doi.org/10.4000/books.pufr.10566>.
- Cox, Glenda. 1999. « Cobern street burial ground: investigating the identity and life histories of the underclass of eighteenth century Cape Town ». Thèse de doctorat, University of Cape Town. <http://hdl.handle.net/11427/14289>.
- Crevecœur, I., A. Brooks, I. Ribot, E. Cornelissen et P. Semal. 2016. « Late Stone Age human remains from Ishango (Democratic Republic of Congo): New insights on Late Pleistocene modern human diversity in Africa ». *Journal of Human Evolution* 96 : 35-57. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2016.04.003>.

- Crevecoeur, Isabelle, Matthew M. Skinner, Shara E. Bailey, Philipp Gunz, Silvia Bortoluzzi, Alison S. Brooks, Christian Burret et al. 2014. « Early Hominin from Central Africa (Ishango, Democratic Republic of Congo) ». *Plos one* 9 (1) : 1-10.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084652>.
- Curran, Sabrina Christiène. 2009. « Hominin Paleoecology and Cervid Ecomorphology ». Thèse de doctorat, University of Minnesota.
<https://www.proquest.com/dissertations-theses/hominin-paleoecology-cervid-ecomorphology/docview/304954009/se-2?accountid=9641>.
- Davies, Thomas G. et Jay T. Stock. 2014. « Human Variation in the Periosteal Geometry of the Lower Limb: Signatures of Behaviour among Human Holocene Populations ». Dans *Reconstructing Mobility*. Sous la direction de Kristian J. Carlson et Damiano Marchi, 67-90. Boston, MA : Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7460-0_5.
- Dayan, Tamar. 1994. « Early Domesticated Dog of the Near East ». *Journal of Archaeological Science* 21 : 633-640. <https://doi.org/10.1006/jasc.1994.1062>.
- De Heinzelin de Braucourt, Jean. 1950. *Les fouilles d'Ishango*. Bruxelles : Parc National Albert.
- De Maret, P. et A. L. Smith. 2015. « Who's Who? The Case of the Luba ». Dans *Ethnic Ambiguity and the African Past: Materiality, History, and the Shaping of Cultural Identities*. Sous la direction de François G. Richard et Kevin C. Macdonald, 25. Walnut Creek, California : Left Coast Press. https://www.si.edu/object/siris_sil_1067700.
- De Maret, P. et F. Nsuka. 1977. « History of Bantu Metallurgy: Some Linguistic Aspects ». *History in Africa* 4 : 43-65. <https://doi.org/10.2307/3171579>.
- De Maret, Pierre. 1977. « Sanga: New Excavations, More Data, and Some Related Problems ». *The Journal of African History* 18 (3) : 321-337.
<http://www.jstor.org/stable/180636>.
- De Maret, Pierre. 1979. « Luba Roots: The First Complete Iron Age Sequence in Zaire ». *Current Anthropology* 20 (1) : 233–235. doi: 10.1086/202252.

- De Maret, Pierre. 1980. « Ceux qui jouent avec le feu: la place du forgeron en Afrique centrale ». *Africa* 50 (3) : 263-79. <https://doi.org/10.2307/1159118>.
- De Maret, Pierre. 1982. « New Survey of Archaeological Research and Dates for West-Central and North-Central Africa ». *The Journal of African History* 23 (1) : 1-15. doi:10.1017/S0021853700020223.
- De Maret, Pierre. 1985. *Fouilles archéologiques dans la vallée du Haut-Lualaba, Zaïre- II Sanga et Katongo, 1974*. Tervuren, Belgique : Musée royal de l’Afrique centrale. <https://cac.centresphisoc.ulb.be/fr/publication/fouilles-archeologiques-dans-la-vallee-du-haut-lualaba-zaire-ii-sanga-et-katongo-1974>.
- De Maret, Pierre. 1992. *Fouilles archéologiques dans la vallée du Haut-Lualaba, Zaïre- III Kamilamba, Kikulu et Malemba-Nkulu, 1975*. Tervuren, Belgique: Musée Royal de l’Afrique centrale. <https://www.africamuseum.be/sites/default/files/media/docs/research/publications/rmca/online/documents-social-sciences-humanities/fouilles-archeologiques-pdemaret-textes.pdf>
- De Maret, Pierre. 2013. *Recent Farming Communities and States in the Congo Basin and Its Environs*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199569885.013.0060>.
- De Maret, Pierre. 2016. « Tea Party Toys? Classical Kisalian Grave Goods from the Upemba (D.R. Congo) ». *Journal of African Archaeology* 14 (1) : 19–32. doi: 10.3213/2191-5784-10279.
- De Maret, Pierre, Bernard Clist et Wim Van Neer. 1987. « Résultats des premières fouilles dans les abris de Shum Laka et d’Abeke au Nord-Ouest du Cameroun ». *L’Anthropologie* 91 (2) : 559-584. <https://www.academia.edu/download/30952200/1987-cameroun-shumlaka.pdf>

- De Saulieu, Geoffroy, David Sebag et Richard Oslisly. 2018. « Vers une écologie historique de la forêt d’Afrique centrale ». *Les Nouvelles de l’archéologie* (152) : 24-28.
<https://doi.org/10.4000/nda.4191>.
- Dembner, S. A. 1996. « Forest peoples in the Central African rain forest: focus on the pygmies ». *Unasylva-fao* (186) : 3-7. [Unasylva - No. 186 - Forest - dependent people - Forest peoples in the central African rain forest: focus on the pygmies \(fao.org\)](https://www.fao.org/unasylva/issue/186/forest-dependent-people-forest-peoples-in-the-central-african-rain-forest-focus-on-the-pygmies).
- Dlamini, Nonhlanhla. 2013. « In search of the early inhabitants of central Katanga, Democratic Republic of the Congo ». *Goodwin Series* 11 : 78–87.
<http://www.jstor.org/stable/43997032>.
- Dlamini, Nonhlanhla. 2014. « The early inhabitants of the Upemba depression, the Democratic Republic of Congo: A biological review of the cultural continuity theory ». Thèse de doctorat, University of Cape Town.
https://open.uct.ac.za/bitstream/item/13143/thesis_hsf_2014_dlamini_n.pdf?sequence=1.
- Dlamini, Nonhlanhla, Judith Sealy et Alan G. Morris. 2016. « Carbon Isotopes and Dental Caries as Evidence for Regional Variation in the Diets of Early Farming Communities from Katanga, Democratic Republic of the Congo. » *Journal of African Archaeology* 14 (2) : 135–153. <https://doi.org/10.3213/2191-5784-10290>.
- Dounias, Edmond. 2001. « The Management of Wild Yam Tubers by the Baka Pygmies in Southern Cameroon ». *African study monographs* 26 : 135-156.
<https://doi.org/10.14989/68403>.
- Dounias, Edmond, Serge Cogels, Serges Mvé Mbida, et Stéphanie Carrière. 2016. « The Safety Net Role of Inland Fishing in the Subsistence Strategy of Multi-Active Forest Dwellers in Southern Cameroon ». *Revue d’ethnoécologie* (10).
<https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.2844>.

- Elliott, Mariana, Helen Kurki, Darlene A. Weston et Mark Collard. 2014. « Estimating fossil hominin body mass from cranial variables: an assessment using CT data from modern humans of known body mass ». *Am J Phys Anthropol* 154 (2) : 201–214.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.22493>.
- Estoup, Arnaud, Louis Raynal, Paul Verdu et Jean-Michel Marin. 2018. « Model choice using Approximate Bayesian Computation and Random Forests: analyses based on model grouping to make inferences about the genetic history of Pygmy human populations ». *Journal de la Société Française de Statistique* 159 (3) : 167-190. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02048574>.
- Evans-Pritchard, E.E. 1978. *Witchcraft, Oracles and Magic among the Azande*. Oxford : Oxford University Press.
https://monoskop.org/images/3/37/Evans_Pritchard_E_E_Witchcraft_Oracles_and_Magic_Among_the_Azande_1976.pdf
- Fauvelle, François-Xavier. 2018. *L'Afrique ancienne : de l'Acacus au Zimbabwe : 20 000 avant notre ère-XVIIe siècle*: Paris : Belin.
- Friedl, Lukas. 2013. «The femoral shaft waist, an alternative robusticity measure: its distribution, relation to midshaft, and applicability to behavioral reconstructions ». Thèse de doctorat, Tulane University.
<https://www.proquest.com/docview/1444627424?pqorigsite=gscholar&fromopenview=true>
- Friedl, Lukas, Stanislava Eisová et Trenton W. Holliday. 2016. « Re-Evaluation of Pleistocene and Holocene Long Bone Robusticity Trends with Regards to Age-at-Death Estimates and Size Standardization Procedures ». *YJHEV Journal of Human Evolution* 97 : 109–22. doi: 10.1016/j.jhevol.2016.05.013.
- Froment, Alain. 1993. « Adaptation biologique et variation dans l'espèce humaine : le cas des Pygmées d'Afrique ». *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris* 5 (3) : 417-448. <https://doi.org/10.3406/bmsap.1993.2371>.

- Froment, Alain. 1998. « Le peuplement de l'Afrique centrale: contribution de l'anthropologie ». Dans *Paléo-anthropologie en Afrique centrale : un bilan de l'archéologie au Cameroun*. Sous la direction de Michèle Delneuf, J. M. Esssomba et Alain Froment, 13-90. Paris : L'Harmattan. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010017156>.
- Geller, Pamela L. et Christopher M. Stojanowski. 2016. « The vanishing Black Indian: Revisiting craniometry and historic collections ». *Journal of physical Anthropology* 162 (2) : 267-284. doi: 10.1002/ajpa.23115.
- Ghalem, Yassmine. 2020. « Exploration de la diversité crânienne récente et passée en Afrique centrale : analyses via la morphométrie géométrique tridimensionnelle ». Mémoire de M.A., Université de Montréal.
<https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/25432>.
- Gordon, David M. 2018. « Kingdoms of South-Central Africa: Sources, Historiography, and History ». Dans *Oxford Research Encyclopedia of African History*. Oxford: Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190277734.013.146>.
- Gourrier, Aurélien et Ina Reiche. 2015. « L'os : morphologie, structure et composition chimique ». Dans *Messages d'os. Archéométrie du squelette animal et humain*. Sous la direction de Marie Balasse, Jean-Philippe Brugal, Yannicke Dauphin, Eva-Maria Geigl, Christine Oberlin et Ina Reiche, 23-42. Paris : Editions des archives contemporaines. <https://doi.org/10.17184/eac.3978>.
- Grine, F. E., R. M. Bailey, K. Harvati, R. P. Nathan, A. G. Morris, G. M. Henderson, I. Ribot et A. W.G. Pike. 2007. « Late Pleistocene Human Skull from Hofmeyr, South Africa, and Modern Human Origins». *Science* (315) : 226-229.
<https://doi.org/10.1126/science.1136294>.
- Gruwier, Ben J. et Kris Kovarovic. 2021. « Ecomorphology of the cervid calcaneus as a proxy for paleoenvironmental reconstruction ». *The Anatomical Record* n/a (n/a).
<https://doi.org/10.1002/ar.24845>.

- Handler, Jerome S. 1994. « Determining African Birth from Skeletal Remains: A Note on Tooth Mutilation ». *Historical Archaeology* 28 (3) : 113-19.
<https://doi.org/10.1007/BF03374193>.
- Hewlett, Barry S. 1996. « Cultural diversity among African pygmies ». Dans *Cultural diversity among twentieth-century foragers: an African perspective*. Sous la direction de Susan Kent, 215-244. Cambridge : Cambridge University Press.
- Hewlett, Barry S. 2014. *Hunter-Gatherers of the Congo Basin: Cultures, Histories and Biology of African Pygmies*. New Brunswick, NJ: Transaction Publishers.
- Hiernaux, Jean, Emma de Longree et Josse De Buyst. 1971. *Fouilles archéologiques dans la vallée du Haut-Lualaba-I. Sanga, 1958*. Tervuren : Musée royal de l’Afrique centrale.
- Hiernaux, Jean, Michel Plantier et Josse De Buyst. 1992. « Étude ostéométrique des restes humains de Sanga et Katoto (Age de fer, Zaïre) ». *Anthropologie et préhistoire* 103 : 9-44.
http://biblio.naturalsciences.be/associated_publications/anthropologica-prehistorica/anthropologie-et-prehistoire/ap-103/ap103_9-44.pdf
- Holt, Brigitte M. 2003. « Mobility in Upper Paleolithic and Mesolithic Europe: Evidence from the lower limb ». *American Journal of Physical Anthropology* 122 (3) : 200-215.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.10256>.
- Hsieh, PingHsun, Krishna R. Veeramah, Joseph Lachance, Sarah A. Tishkoff, Jeffrey D. Wall, Michael F. Hammer et Ryan N. Gutenkunst. 2016. « Whole-genome sequence analyses of Western Central African Pygmy hunter-gatherers reveal a complex demographic history and identify candidate genes under positive natural selection ». *Genome research* 26 (3) : 279-290. doi: [10.1101/gr.192971.115](https://doi.org/10.1101/gr.192971.115)
- Kahlheber, Stefanie, Manfred K. H. Eggert, Dirk Seidensticker et Hans-Peter Wotzka. 2014. « Pearl Millet and Other Plant Remains from the Early Iron Age Site of Boso-Njafa

- (Inner Congo Basin, Democratic Republic of the Congo) ». *African Archaeological Review* 31 (3) : 479-512. <https://doi.org/10.1007/s10437-014-9168-1>.
- Karega, Munene et Peter Schmidt. 2010. « Postcolonial Archaeologies in Africa: Breaking the Silence ». *African Archaeological Review* 27 (4) : 323-37. <https://doi.org/10.1007/s10437-010-9084-y>.
- Kent, Susan. 1996. *Cultural diversity among twentieth-century foragers: an African perspective*. Cambridge : Cambridge university press.
- Knobbe, Sharon. 2010. « Reconstructing Activity Patterns in Prehistoric Jomon People Using Long Bone Cross-Sectional Geometry ». Mémoire de M.A., University of Missouri--Columbia. <https://doi.org/10.32469/10355/9278>.
- Kovarovic, Kris, J. Tyler Faith, Kirsten E. Jenkins, Christian A. Tryon, et Daniel J. Peppe. 2021. « Ecomorphology and ecology of the grassland specialist, *Rusingoryx atopocranium* (Artiodactyla: Bovidae), from the late Pleistocene of western Kenya ». *Quaternary Research* 101 : 187-204. <https://doi.org/10.1017/qua.2020.102>.
- Lambert, P. M. 2000. *Bioarchaeological studies of life in the age of agriculture: A view from the southeast* . Tuscaloosa: University of Alabama Press. <http://site.ebrary.com/id/10387615>.
- Lanfranchi, R., Bernard Clist, Y. de la Croix, Saint-Exupéry Centre culturel et Bantu Centre international des civilisations. 1991. « Aux origines de l'Afrique centrale ». Libreville, Gabon : Centres culturels français d'Afrique centrale.
- Larsen, Clark S. et Christopher B. Ruff. 2011. « An External Agency of Considerable Importance’: The Stresses of Agriculture in the Foraging-to-Farming Transition in Eastern North America ». Dans *Human Bioarchaeology of the Transition to Agriculture*. Sous la direction de Ron Pinhasi et Jay T. Stock, 293–315. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470670170.ch12>.

- Larsen, Clark S., Christopher J. Knüsel, Scott D. Haddow, Marin A. Pilloud, Marco Milella, Joshua W. Sadvari, Jessica Pearson, Christopher B. Ruff, Evan M. Garafalo, Emmy Bocaege, Barbara J. Betz, Irene Dori et Bonnie Glencross. 2019. « Bioarchaeology of Neolithic Çatalhöyük reveals fundamental transitions in health, mobility, and lifestyle in early farmers ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116 (26) : 12615.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1904345116>.
- Lavachery, Philippe. 2001. « The Holocene Archaeological Sequence of Shum Laka Rock Shelter (Grassfields, Western Cameroon). » *African Archaeological Review* 18 (4) : 213–247. doi: 10.1023/a:101311400885.
- Lavachery, Philippe, Els Cornelissen, Jan Moeyersons et Pierre De Maret. 1996. « 30 000 ans d'occupation, 6 mois de fouilles Shum Laka, un site exceptionnel en Afrique centrale ». *Anthropologie et Préhistoire* 107 : 197-211.
https://biblio.naturalsciences.be/associated_publications/anthropologica-prehistorica/anthropologie-et-prehistoire/references/ap-107/anthropologie-et-prehistoire-107-1996.html
- Ledger, M., L-M. Holtzhausen, D. Constant et A. G. Morris. 2000. « Biomechanical Beam Analysis of Long Bones from a Late 18th Century Slave Cemetery in Cape Town, South Africa ». *American Journal of Physical Anthropology* 112 (2) : 207-216.
doi: 10.1002/(SICI)1096-8644(2000)112:2<207::AID-AJPA7>3.0.CO;2-K.
- Lefèvre, Emmanuelle. 2015. « Caractérisation multimodale des propriétés de l'os cortical en croissance ». Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille.
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01304113/document>.
- Lieberman, Daniel E., John D. Polk et Brigitte Demes. 2004. « Predicting long bone loading from cross-sectional geometry ». *American Journal of Physical Anthropology* 123 (2) : 156-171. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10316>.
- Lieverse, A. R., Jay T. Stock, M. A. Katzenberg et C. M. Haverkort. 2011. « The Bioarchaeology of Habitual Activity and Dietary Change in the Siberian Middle Holocene ». Dans

Human Bioarchaeology of the Transition to Agriculture. Sous la direction de Ron Pinhasi et Jay T. Stock, 263-291. Chichester, UK : John Wiley & Sons, Ltd.

<https://doi.org/10.1002/9780470670170.ch11>.

Lipson, Mark, Isabelle Ribot, Swapan Mallick, Nadin Rohland, Iñigo Olalde, Nicole Adamski, Nasreen Broomandkhoshbacht et al. 2020. « Ancient West African Foragers in the Context of African Population History ». *Nature* 577 (7792) : 665-670.

<https://doi.org/10.1038/s41586-020-1929-1>.

Lovejoy, Owen C., Richard S. Meindl, Thomas R. Pryzbeck et Robert P. Mensforth. 1985. « Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: A new method for the determination of adult skeletal age at death ». *American Journal of Physical Anthropology* 68 (1) : 15-28. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330680103>.

MacEachern, Scott. 2007. « Where in Africa does Africa start? Identity, genetics and African studies from the Sahara to Darfur ». *Journal of Social Archaeology* 7 (3) : 393-412. doi:[10.1177/1469605307081399](https://doi.org/10.1177/1469605307081399).

Macintosh, A. A., Ron Pinhasi et Jay T. Stock. 2014. « Lower Limb Skeletal Biomechanics Track Long-Term Decline in Mobility across ~6150 Years of Agriculture in Central Europe ». *Journal of Archaeological Science* 52 : 376- 390.

<https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.09.001>.

Maley, Jean, Charles Doumenge, Pierre Giresse, Gil Mahé, Nathalie Philippon, Wannes Hubau, Micheal O. Lokonda, John M. Tshibamba, et Alex Chepstow-Lusty. 2018. « Late Holocene Forest Contraction and Fragmentation in Central Africa ». *Quaternary Research* 89 (1) : 43-59. <https://doi.org/10.1017/qua.2017.97>.

Malhi, Yadvinder. 2018. « Ancient deforestation in the green heart of Africa ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (13) : 3202-3204.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1802172115>.

Mande, Jean-Pierre Mateso, Jean OmasomboTshonda, Guillaume Léonard, Gilbert Umvor Keno, Mokili Mbuluyo, David Remo lo-Lozube, Joris Krawczyk et Mohamed

- Laghmouch. 2021. *ITURI. Terre et identités sous tension*. Tervuren, Belgique : Musée Royale de l’Afrique centrale.
<https://www.africamuseum.be/sites/default/files/media/docs/research/publications/rmca/online/monographies-provinces/ituri.pdf>
- Mandjo, Benjamin L., Jacques Paulus et Dieudonné E. Musibono. 2015. « Evaluation de l’importance relative des activités et des milieux chez les Pygmées Batwa du territoire de Bikoro, Province de l’Equateur, en République Démocratique du Congo [Assessment of importance of environment and activities in Batwa communities of Bikoro area, Democratic Republic of Congo] ». *Innovative Space of Scientific Research Journals* 11 (3) : 734-741. <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- Marchi, Damiano, Vitale S. Sparacello, Brigitte M. Holt et Vincenzo Formicola. 2006. « Biomechanical approach to the reconstruction of activity patterns in Neolithic Western Liguria, Italy ». *American Journal of Physical Anthropology* 131 (4) : 447-55. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20449>.
- Marchi, Damiano, Vitale Sparacello et Colin Shaw. 2011. « Mobility and Lower Limb Robusticity of a Pastoralist Neolithic Population from North-Western Italy ». Dans *Human Bioarchaeology of the Transition to Agriculture*. Sous la direction de Ron Pinhasi et Jay T. Stock, 317-346. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9780470670170.ch13>.
- Matiegka, J. et J. Maly. 1938. « Etude de quatre squelettes de pygmées centre-africains du bassin de l’Ituri ». *L’Anthropologie* 48 : 237-248.
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4225608r/f249.item#>.
- Meloro, Carlo et Davide Tamagnini. 2021. « Macroevolutionary ecomorphology of the Carnivora skull: adaptations and constraints in the extant species ». *Zoological Journal of the Linnean Society*. <https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlab075>.

- Meloro, Carlo, Jonathan Hunter, Louise Tomsett, Roberto Portela Miguez, Francisco J. Prevosti, et Richard P. Brown. 2017. « Evolutionary ecomorphology of the Falkland Islands wolf *Dusicyon australis* ». *Mammal Review* 47 (2) : 159-163.
<https://doi.org/10.1111/mam.12085>.
- Meyers, J.L. 2017. « The relationship between proximal long bone shape and activity among four hunter-gatherer populations ». Mémoire de M. A., University of Guelph.
- Migliano, Andrea Bamberg, Irene Gallego Romero, Mait Metspalu, Matthew Leavesley, Luca Pagani, Tiago Antao, Da-Wei Huang et al. 2013. « Evolution of the pygmy phenotype: Evidence of positive selection from genome-wide scans in African, Asian, and Melanesian pygmies ». *Human Biology* 85 (1-3) : 251-284.
<http://digitalcommons.wayne.edu/humbiol/vol85/iss1/12>.
- Mindzie, Christophe Mbidja, Hugues Doutrelepon, Luc Vrydaghs, Rony L. Swennen, Rudy J. Swennen, Hans Beeckman, Edmond de Langhe et Pierre De Maret. 2001. « First archaeological evidence of banana cultivation in central Africa during the third millennium before present ». *Vegetation History and Archaeobotany* 10 : 1-6.
doi:10.1007/PL00013367.
- Mummert, Amanda, Emily Esche, Joshua Robinson et George J. Armelagos. 2011. « Stature and robusticity during the agricultural transition: Evidence from the bioarchaeological record ». *Economics and Human Biology* 9 (3) : 284-301.
doi: 10.1016/j.ehb.2011.03.004.
- Nenquin, Jacques. 1963. *Excavations at Sanga, 1957, The Protohistoric Necropolis*. Tervuren, Belgique : Musée royal de l'Afrique centrale.
- Ogilvie, Marsha Dean. 2000. « A biological reconstruction of mobility patterns at the foraging to farming transition in the American *Southwest ». Thèse de doctorat, University of New Mexico. <https://www.proquest.com/pagepdf/304614630?accountid=9641>
- Ogilvie, Marsha D. et Charles E. Hilton. 2011. « Cross-Sectional Geometry in the Humeri of Foragers and Farmers from the Prehispanic American Southwest: Exploring Patterns in

- the Sexual Division of Labor ». *American Journal of Physical Anthropology* 144 (1) : 11–21. doi:[10.1002/ajpa.21362](https://doi.org/10.1002/ajpa.21362).
- O’Neill, Matthew C. et Christopher B. Ruff. 2004. « Estimating Human Long Bone Cross-Sectional Geometric Properties: A Comparison of Noninvasive Methods ». *Journal of Human Evolution* 47 (4) : 221-235. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2004.07.002>.
- Orban, Rosine, Isabelle Ribot, Sylvie Fenaux et Pierre De Maret. 1996. « Les restes humains de Shum Laka (Cameroun, LSA — Age de fer) ». *Anthropologie et Préhistoire* 107 : 213-225.
http://biblio.naturalsciences.be/associated_publications/anthropologica-prehistorica/anthropologie-et-prehistoire/ap-107/ap-107_-213-225.pdf
- Orban, Rosine, Patrick Semal et François Twiesselmann. 2001. « Sur la biométrie des mandibules et des dents humaines d’Ishango (LSA, République démocratique du Congo) ». *Bulletins et Mémoires de la Sociétés d’Anthropologie de Paris* 13 (1-2) : 1-13. <https://doi.org/10.4000/bmsap.5993>.
- Patin, Etienne et Lluís Quitana-Murci. 2018. « The demographic and adaptative history of central African hunter-gatherers and farmers ». *Current Opinion in Genetics and Development, Elsevier* (53) : 90-97. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02352848>.
- Pearson, Osbjorn M. et Daniel E. Lieberman. 2004. « The Aging of Wolff’s ‘Law’: Ontogeny and Responses to Mechanical Loading in Cortical Bone ». *American Journal of Physical Anthropology* 125 (39) : 63–99. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20155>.
- Peters, Joris. 1990. « Late Pleistocene hunter-gatherers at Ishango (Eastern Zaire): the faunal evidence ». *Revue de Paléobiologie* 9 (1) : 73-112. doi: 10.5282/ubm/epub.8274.
- Pinhasi, Ron et Jay T. Stock. 2011. *Human bioarchaeology of the transition to agriculture*. New York: Wiley.

- Püschel, Thomas A. et Bénitez, Hugo A. 2014. « Femoral functional adaptation: a comparison between hunter-gatherers and farmers using geometric morphometrics ». *Int. J. Morphol* 32 (2) : 627-633. DOI:[10.4067/S0717-95022014000200041](https://doi.org/10.4067/S0717-95022014000200041)
- Quiblier, Lauriane. 2020. « Étude comparative de la morphologie du crâne d'artiodactyles et de périssodactyles: une approche écomorphologique ». Mémoire de M.A., Université de Liège. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/9887>
- Reefe, Thomas Q. 1981. *The Rainbow and the Kings : A History of the Luba Empire to 1891*. Berkeley : University of California Press.
- Ribot, Isabelle. 2011. *A study through skull morphology on the diversity of Holocene African populations in a historical perspective*. Oxford : British Archaeological Report. International Series 2215.
- Ribot, Isabelle, Rosine Orban et Pierre De Maret. 2001. *The Prehistoric Burials of Shum Laka Rockshelter: North-West Cameroon*. Tervuren, Belgique: Musée royal de l'Afrique centrale.
- Robillard, M. et Bahuchet, Serge. 2012. « Les Pygmées et les autres : terminologie, catégorisation et politique ». *Journal des africanistes* 82 (82-1/2) : 15-51. <https://doi.org/10.4000/africanistes.4253>.
- Rocha, Jorge et Anne-Maria Fehn. 2016. « Genetics and Demographic History of the Bantu ». Dans *ELS*. Sous la direction de John Wiley & Sons Ltd, 1-9. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0022892>.
- Roche, Emile. 1991. « Évolution des paléoenvironnements en Afrique centrale et orientale au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Influences climatiques et anthropiques ». *Bulletin de la Société Géographique de Liège* 27 : 187-208. <https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=3634>.
- Ruff, Christopher B. 1999. « Skeletal Structure and Behavioral Patterns of Prehistoric Great Basin Populations.» Dans *Prehistoric Lifeways in the Great Basin Wetlands:*

- Bioarchaeological Reconstruction and Interpretation*. Sous la direction de Brian Hemphill, 290–320. The University of Utah Press.
<https://uofupress.lib.utah.edu/prehistoric-lifeways-in-the-great-basin-wetlands/>.
- . ——— 2000. « Body Size, Body Shape, and Long Bone Strength in Modern Humans ». *Journal of Human Evolution* 38 (2) : 269–90. <https://doi.org/10.1006/jhev.1999.0322>.
- 2005. « Mechanical determinants of bone form: insights from skeletal remains ». *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions* 5 (3) : 202–212.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16172511/>.
- . 2008. « Biomechanical Analyses of Archaeological Human Skeletons ». Dans *Biological Anthropology of the Human Skeleton*. Sous la direction de M. Anne Katzenberg et Shelley R. Saunders, 183-206. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470245842.ch6>.
- Ruff, Christopher B., Brigitte M. Holt, Markku Niskanen, Vladimir Sladěk, Margit Berner, Evan Garofalo, Heather M. Garvin, Martin Hora et al. 2012. « Stature and Body Mass Estimation from Skeletal Remains in the European Holocene ». *American Journal of Physical Anthropology* 148 (4) : 601-17. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22087>.
- Ruff, Christopher B., Brigitte Holt, Markku Niskanen, Vladimir Sladek, Margit Berner, Evan Garofalo, Heather M. Garvin et al. 2015. « Gradual Decline in Mobility with the Adoption of Food Production in Europe ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112 (23) : 7147-52. <https://doi.org/10.1073/pnas.1502932112>.
- Ruff, Christopher B., Erik Trinkaus, Alan Walker et Clark S. Larsen. 1993. « Postcranial robusticity in Homo. I: Temporal trends and mechanical interpretation ». *American Journal of Physical Anthropology* 91 (1) : 21-53.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.1330910103>.

- Ryan, Timothy M. et Colin N. Shaw. 2015. « Gracility of the modern Homo sapiens skeleton is the result of decreased biomechanical loading ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112 (2) : 372-377. <https://doi.org/10.1073/pnas.1418646112>.
- Schawrtz, D. 1992. « Assèchement climatique vers 3 000 BP et expansion Bantu en Afrique centrale atlantique : quelques réflexions ». *Bull. soc. Géol* 163 (3) : 353 -361.
- Schwartz, Jeffrey H. 1995. *Skeleton Keys*. Oxford : Oxford University Press.
- Schlebusch, Carina. M. et Mattias Jakobsson. 2018. « Tales of human migration, admixture, and selection in Africa ». *Annual review of genomics and human genetics* 19 : 405-428. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-genom-083117-021759>.
- Sealy, Judith et Susan Pfeiffer. 2000. « Diet, Body Size, and Landscape Use among Holocene People in the Southern Cape, South Africa ». *Current Anthropology* 41 (4) : 642-55. <https://doi.org/10.1086/317392>.
- Shaw, Colin N. et Jay T. Stock. 2013. « Extreme Mobility in the Late Pleistocene? Comparing Limb Biomechanics among Fossil Homo, Varsity Athletes and Holocene Foragers ». *Journal of Human Evolution* 64 (4) : 242-49. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2013.01.004>.
- Sparacello, Vitale S., Damiano Marchi et Colin N. Shaw. 2014. « The Importance of Considering Fibular Robusticity When Inferring the Mobility Patterns of Past Populations ». Dans *Reconstructing Mobility*. Sous la direction de Kristian J. Carlson et Damiano Marchi, 91110. Boston, MA: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7460-0_6.
- Steckel, Richard H., Clark Spencer Larsen., Paul W. Sciulli et Phillip L. Walker. 2005. « A history of health in Europe over the past 10 000 years: summary of a research proposal ». Dans *The global history of health project*. Sous la direction de The Ohio State University. <https://economics.osu.edu/global-history-health-project>

- Stock, Jay T. 2006. « Hunter-Gatherer Postcranial Robusticity Relative to Patterns of Mobility, Climatic Adaptation, and Selection for Tissue Economy ». *American Journal of Physical Anthropology* 131 (2) : 194-204. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20398>.
- Stock, Jay T. et Colin N. Shaw. 2007. « Which measures of diaphyseal robusticity are robust? A comparison of external methods of quantifying the strength of long bone diaphyses to cross-sectional geometric properties ». *American Journal of Physical Anthropology* 134 (3) : 412–423. doi:10.1002/ajpa.20686.
- Stock, Jay T. et Susan Pfeiffer. 2001. « Linking structural variability in long bone diaphyses to habitual behaviors: Foragers from the southern African Later Stone Age and the Andaman Islands ». *American Journal of Physical Anthropology* 115 (4) : 337-348. doi:10.1002/ajpa.1090.
- Stock, Jay T. et Susan Pfeiffer. 2004. « Long bone robusticity and subsistence behavior among later stone age foragers of the forest and fynbos biomes of south Africa ». *Journal of Archeological Science* 31 : 999-1013. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2003.12.012>.
- Stock, Jay T., Matthew C. O’neill, Christopher B. Ruff, Melissa Zabecki, Laura Shackelford et Jerome C. Rose. 2011. « Body Size, Skeletal Biomechanics, Mobility and Habitual Activity from the Late Palaeolithic to the Mid-Dynastic Nile Valley ». Dans *Human Bioarchaeology of the Transition to Agriculture*. Sous la direction de Ron Pinhasi et Jay T. Stock, 347-367. New York : John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470670170.ch14>.
- Trinkaus, Erik et Christopher B. Ruff. 2012. « Femoral and Tibial Diaphyseal Cross-Sectional Geometry in Pleistocene Homo ». *PaleoAnthropology* 2012 : 13-62. <https://paleoanthro.org/static/journal/content/PA20120013.pdf>.
- Trotter, Mildred et Glodine C. Gleser. 1958. « A re-evaluation of estimation of stature based on measurements of stature taken during life and of long bones after death ». *American Journal of Physical Anthropology* 16 (1) : 79-123. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330160106>.

- Vaillancourt, Maxime. 2017. « L'écomorphologie des suidés d'élevages au Québec : impact de la mobilité sur la forme de l'astragale ». Mémoire de M.A., Université de Montréal. <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/20032>.
- Vance, V. L., M. Steyn, E. N. L'Abbé et P. J. Becker. 2010. « A cross-sectional analysis of age related changes in the osteometric dimensions of long bones in modern South Africans of European and African descent ». *Forensic Science International* 199 (1-3) : 110.e1-110.e9. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.02.036>.
- Vansina, Jan. 1990. *Paths in the rainforests: toward a history of political tradition in equatorial Africa*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Vansina, Jan. 1995. « New linguistic evidence and The Bantu expansion ». *Journal of African history* 36 (2) : 173-195. <https://www.jstor.org/stable/182309>.
- Verdu, Paul et Giovanni Destro-Bisol. 2012. « African Pygmies, what's behind a name? ». *Human biology* 84 (1) : 1. doi:10.3378/027.084.0105.
- Wang, Ke, Steven Goldstein, Madelaine Bleasdale, Bernard Clist, Koen Bostoen, Paul Bakwa-Lufu et al. 2020. « Ancient genomes reveal complex patterns of population movement, interaction, and replacement in sub-Saharan Africa ». *Science advances* 6 (24) : 1-14. [Science Journals — AAAS \(ugent.be\)](https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abc0000).
- Watson, Elena O. 2018. « Lower Limb Activity and Mobility Patterns in Medieval Nubia: A Biomechanical Approach of Femoral and Tibial Cross-Sectional Geometry From Mis Island ». Mémoire de M.A., Michigan State University. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/lower-limb-activity-mobility-patterns-medieval/docview/2100702780/se-2?accountid=964>.
- Weiss, Elizabeth. 2001. « A cross-cultural study of humeri: environmental causes of morphology ». Thèse de doctorat, University of Arkansas.

- Weiss, Elizabeth. 2003. « Effects of rowing on humeral strength ». *American Journal of Physical Anthropology* 121 (4) : 293–302. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10240>.
- Wescott, D. 2006. « Effect of mobility on femur midshaft external shape and robusticity ». *American Journal of Physical Anthropology* 130 : 201-13. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20316>.
- White, Tim. D., Michael T. Black et Pieter A. Folkens. 2012. *Human Osteology. 3rd ed.* San Diego, Calif: Academic Press. <http://site.ebrary.com/id/10446604>.
- Wilson, John W. et Richard B. Primack. 2020. « Introduction to Sub-Saharan Africa ». Dans *Conservation Biology in Sub-Saharan Africa*. Sous la direction de John W. Wilson et Richard B. Primack, 23-60. Cambridge : Open Book Publishers. <http://books.openedition.org/obp/10402>.
- Zoccolillo, Matteo, Claudia Moia, Sergio Comincini, Davide Cittaro, Dejan Lazarevic, Karen A. Pisani, Jan M. Wit et Mauro Bozzola. 2020. « Identification of novel genetic variants associated with short stature in a Baka Pygmies population ». *Human genetics* 139 (11) : 1471-1483. doi: [10.1007/s00439-020-02191-x](https://doi.org/10.1007/s00439-020-02191-x).

Annexe 1. Collections centrafricaines

Tableau A1.1 Collection à l'étude

Lieu de collecte	Période	Date C14	Pays	Aire régionale	Site	Population	Code d'individu	Age	Sexe	
Ishango										
1	IRSNB	Age de pierre tardif	25/20 000 ans	R.D.C.	Afrique centrale	Ishango	Chasseurs-cueilleurs	13 VII 1984	Adulte	H
2	IRSNB	Age de pierre tardif	25/20 000 ans	R.D.C.	Afrique centrale	Ishango	Chasseurs-cueilleurs	11 A	Adulte	?
Shum Laka										
3	IRSNB	Age de fer	7 000 ans	Cameroun	Afrique ouest centrale	Shum Laka	Chasseurs-cueilleurs	D	Adulte (18 ans)	?
4	IRSNB	Age de fer tardif	3 000 ans	Cameroun	Afrique ouest centrale	Shum Laka	Chasseurs-cueilleurs	SE III	Adulte (20-29)	F
5	IRSNB	Age de fer tardif	3000 ans	Cameroun	Afrique ouest centrale	Shum Laka	Chasseurs-cueilleurs	SEIV	Adulte	F
Sanga (SGA)										
6	IRSNB	Passée	–	R.D.C.	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T1	Adulte	F
7	IRSNB	Passée	–	R.D.C.	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T7	Adulte (50 ans)	F
8	IRSNB	Passée	–	R.D.C.	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T8	Adulte (35-40)	?
9	IRSNB	Kisalien Classique	1070 +/- 200 BP	R.D.C.	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T10	Adulte (50-70)	H
10	IRSNB	Kabambian A	1200-1500 AD	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T11	Adulte	H
11	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T13	Adulte (30-50)	F

12	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T15.1	Adulte	?
13	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T15.2	Adulte	?
14	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T15.3	Adulte	?
15	IRSNB	Début Kisalien	1240 +/- 120 BP	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T18	Adulte (30-40)	H ?
16	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T20	Adulte (20-30)	?
17	IRSNB	Début Kisalien	700-900	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T21	Adulte (55-75)	F
18	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T22	Adulte	F ?
19	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T30	Adulte	?
20	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T44	Adulte	?
21	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T47	Adulte (35-55)	H
22	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T55	Adulte (45-55)	?
23	IRSNB	Kisalieu Classique	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T76	Adulte (30-40)	H
24	IRSNB	Passée	–	RDC	Afrique centrale	SGA	Dépression de l'Upemba	T129	Adulte	?
Malemba-Nkulu (MAK)										
25	ULB	Kabambian	–	RDC	Afrique centrale	MAK	Dépression de l'Upemba	T1	Adulte (30-55)	H

26	ULB	Kabambian B	100,1+/- - 0,5 BP	RDC	Afrique centrale	MAK	Dépression de l'Upemba	T19	Adulte (22-30)	?
27	ULB	Kabambian B	860 +/- 55 BP	RDC	Afrique centrale	MAK	Dépression de l'Upemba	T35.A2	Adulte	F
28	ULB	Kabambian	-	RDC	Afrique centrale	MAK	Dépression de l'Upemba	T35.B1	Adulte	F
Kikulu (KUL)										
29	ULB	Luba récent	100,8+/- - 1,2 BP	RDC	Afrique centrale	KUL	Dépression de l'Upemba	T1	Adulte (20-25)	F
30	ULB	Kabambian A	-	RDC	Afrique centrale	KUL	Dépression de l'Upemba	T4	Adulte (25-35)	F ?
31	ULB	Kisalien	-	RDC	Afrique centrale	KUL	Dépression de l'Upemba	T7	Adulte (25-35)	H
32	ULB	Kabambian	-	RDC	Afrique centrale	KUL	Dépression de l'Upemba	T9/10	Adulte (50-59)	F
33	ULB	Début Kisalien	1295 +/- 45BP	RDC	Afrique centrale	KUL	Dépression de l'Upemba	T14	Adulte (40-60)	F ?
34	ULB	Kabambian A	-	RDC	Afrique centrale	KUL	Dépression de l'Upemba	T15	Adulte (20-30)	F
35	ULB	Luba récent	-	RDC	Afrique centrale	KUL	Dépression de l'Upemba	T17	Adulte (30-40)	H
36	ULB	Kabambian A	920 +/- 50 BP	RDC	Afrique centrale	KUL	Dépression de l'Upemba	T19	Adulte (30-40)	F
37	ULB	Kabambian A	795 +/- 65 BP	RDC	Afrique centrale	KUL	Dépression de l'Upemba	T20	Adulte (25-35)	F
Azande										
38	IRSNB	Moderne	19-20 ^e siècles	RDC	Afrique centrale	Uélé	Azande	AF58.35	Adulte (45 ans)	F
39	IRSNB	Moderne	19-20 ^e siècles	RDC	Afrique centrale	Uélé	Azande	AF59.39	Adulte (45 ans)	H

Pygmée										
40	IRSNB	Moderne	19-20 ^e siècles	RDC	Afrique centrale	Bassin de l'Ituri	Mbuti	AF55.207	Adulte (+ 40ans)	H
41	IRSNB	Moderne	19-20 ^e siècles	RDC	Afrique centrale	Bassin de l'Ituri	Mbuti	AF56.208	Adulte (40 ans)	F
42	IRSNB	Moderne	19-20 ^e siècles	RDC	Afrique centrale	Bassin de l'Ituri	Mbuti	AF54.212	Adulte (50 ans)	H
43	IRSNB	Moderne	19-20 ^e siècles	RDC	Afrique centrale	Bassin de l'Ituri	Mbuti	AF57.213	Adulte (40 ans)	F

Tableau A1.2. Séquence archéologique dans la vallée d'Upemba à l'âge de fer

Période	Date	Artéfacts/ sépultures	Population
Kamilambian	500-700 AD (6 ^e -8 ^e siècle)	- Poterie : début de l'âge de fer avec industrie du cuivre - Outils en fer : Couteau, flèche, épée	* Village (Age de fer) proche des rivages de lac, traces de structures de maisons *Traces agricoles : meules + carbonisation
Kisalien ancien	700-900 AD (8 ^e -10 ^e siècle)	- Poterie : moins élaborées et plus complexes - Outils : bracelets en cuivre - Sépultures : Nombreuses	
Kisalien Classique	900-1200 AD (10 ^e -13 ^e siècle)	- Poterie : évolution du type 10 ^e - Outils en fer : couteau, flèches, tête d'harpons, hameçon, houes, pendentifs et chaines. . Cuivre : ornement pour les colliers, bracelet et ceinture/ objet fonctionnel épée, couteau et fer de lance. - Sépultures : Nombreuses + une nouvelle culturel matérielle	
Kabambian A & B	A :1200-1500AD (14 ^e -16 ^e siècle) B :1500-1700AD (16 ^e -18 ^e siècle)	- Poterie : moins élaboré en forme et décoration (B : glissement rouge) Utilisation des croisettes (nouveau) - Sépulture : changement pratique funéraire + diminutions des biens surtout en fer.	Abondance de cuivre = commerce avec le Sud (Zambie) - B : Expansion du commerce avec région côtière : coquillage (cauris) et perle de verres trouvé dans les tombes.
Luba récent	18 ^e -20 ^e siècles		Fin 18^e début culture Luba Lomani

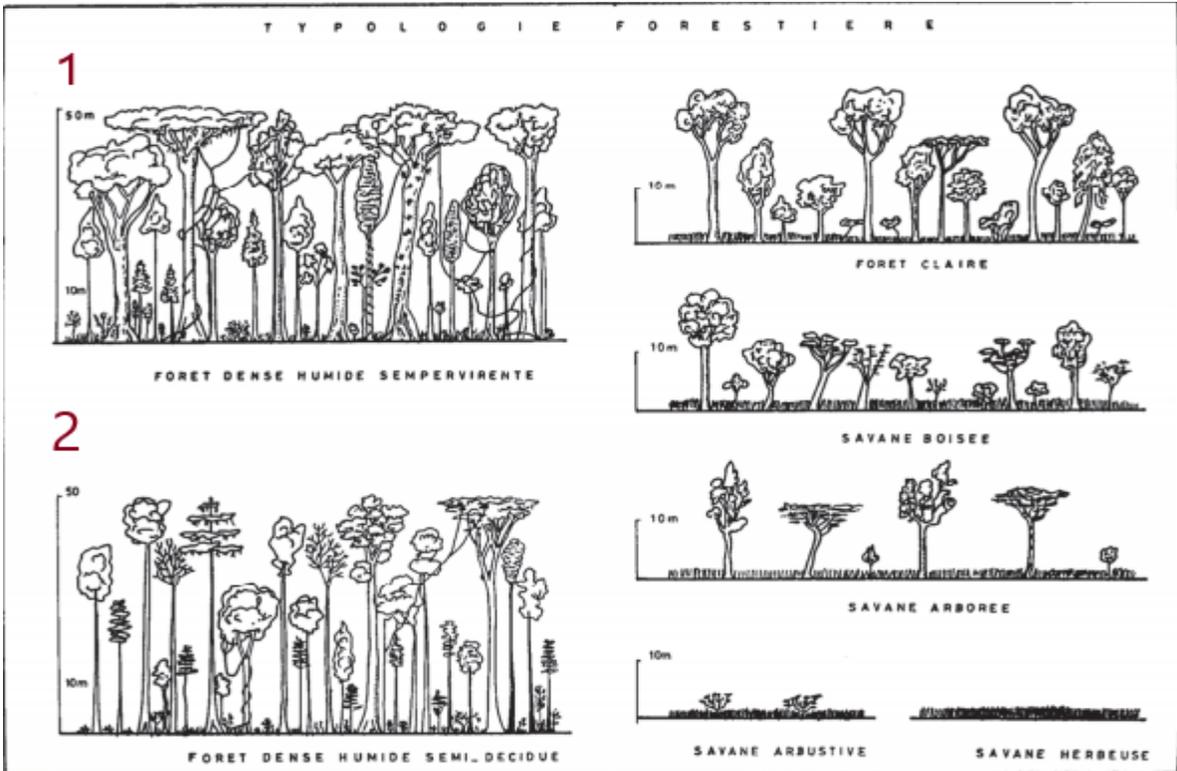


Figure A1.1 Types de végétation des tropiques (Aleman 2013). 1 = forêt sempervirente, 2 forêts semi-décidue le type de forêts.

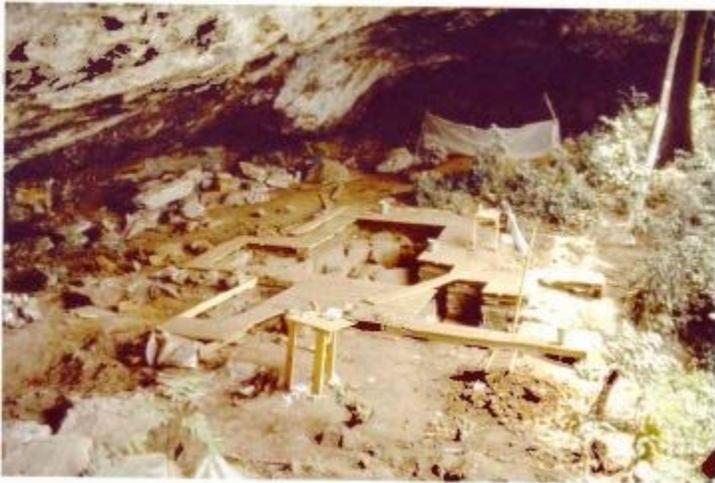


Figure A1.2 Site de fouille des sépultures de Shum Laka en 1993 (Lavachery et al. 1996)

Annexe 2. Matériels et Méthodes

Tableau A2.1 Méthode visuelle et métrique utilisée pour déterminer le sexe des individus à l'étude

Type d'os	Individu/ population	Méthode visuelle	Méthode métrique
Crâne	Ishango 13, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • 1 individu MAK*, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • T35.B1 KUL, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • T4 • T14 Azande, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • N°35 • N°39 	-Aspects morphologiques <i>(Buikstra et Ubelaker 1994)</i>	
Os Coxal (+ sacrum)	Ishango 13, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • 1 individu MAK, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • T35B1 Kikulu, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • T9/10 Azande, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • N°35 • N°39 Pygmée, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • N°207 • N°208 • N°212 • N° 213 	-Estimation du sexe à partir de la morphologie du sacrum <i>(Byers 2005)</i> -Estimation du sexe à partir de la morphologie de l'os coxal <i>(Bruzek 2002; Steckel et al. 2005)</i>	DSP2. Diagnose sexuelle probabiliste <i>(Bruzek et al. 2017)</i>

*Malemba-Nkulu, Pygmée=Mbuti

Tableau A2.2 Degrés d'expression des traits pour l'estimation du sexe à partir de la morphologie crânienne (Buikstra et Ubelaker 1994)

Descriptions morphologiques						
Individu	Crête nucale (occipitale)	Processus mastoïde	Bord supérieur de l'Orbite	Proéminence de la glabelle	Protubérance mentonnière	Sexe
Ishango 13	3/4	2	4	4	N. A	P. Masculin
MAK T35B1	N. A	N. A	N. A	N. A	2	Féminin
KULT4	N. A	1	1	1	2	Féminin
KULT14	3	1	2	2	1	Féminin
Azande 35	2	2	1	1	N. A	Féminin
Azande 39	3/4	3	2/3	3	3/4	Ambigu

1=hyper féminin, 2= Probablement féminin, 3=sexe ambigu, 4= Probablement masculin, 5=(hyper-) masculin

Tableau A2.3 Estimation du sexe à partir de traits morphologiques de l'os coxal et du sacrum (Bruzek 2002; Byers 2005; Steckel et al. 2005)

Descriptions morphologiques							
Individu	Sacrum	Incisure ischiatique	Sillon pré-auriculaire	Angle sous-pubien	Crête iliaque	Forme Pubis	Sexe
Ishango 13	N. A	Fermée	Absent	N. A	En S	N. A	H
MAK T35B1	N. A	Ouvert	Léger	N. A	N. A	N. A	F
KUL T9/10	N. A	Ouvert	Léger	N. A	Peu courbe	N. A	F
Azande 35	Court, large	Ouvert	Présent	Ouvert	Peu courbe	Rectangulaire	F
Azande 39	Long, étroit	Fermée	Absent	Fermée	En S	Triangulaire	H
Pygmée 207	N. A	Fermée	Présent	Ouvert	En S	Triangulaire	H
Pygmée 212	Long, étroit	Fermée	Absent	Fermée	N. A	Triangulaire	H

Bien que les Pygmées soit déjà sexué les méthodes visuelles ont été appliqué sur leurs os coxaux et le sacrum. (Voir section 3.1.3.2)

Tableau A2.4 Méthode visuelle utilisée pour déterminer l'âge des individus à l'étude

	Populations / individus	Méthodes visuelles
Dent mandibulaire (et corps mandibulaire)	MAK*, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • T35A2 (dent) • T35B1 Mbuti**, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • n°208 	Usure dentaire en vue occlusale (Lovejoy 1985)
Corps vertébraux	MAK, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • T35A2 Kikulu, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • T9/10 Azande, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • n°39 Mbuti, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • n°207 • n°208 • n°212 • n°213 	Usure des corps vertébraux (Albert et Maples 1995)
Os Coxal	Kikulu, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • T9/10 Azande, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • n°35 • n° 39 Mbuti, R.D.C. <ul style="list-style-type: none"> • n°207 • n°208 • n°212 • n°213 	Surface auriculaire (Schwartz 1995) Symphyse pubienne (Schwartz 1995)

Tableau A2.5 Estimation de l'âge à partir de l'usure dentaire, du corps mandibulaire, des corps vertébraux ; et des traits morphologiques de l'os coxal

Descriptions morphologiques						
Individus	Usure dentaire	Corps mandibulaire	Usure des corps vertébraux	Surface auriculaire	Symphyse pubienne	Age
MAK T35B	35-40/45 ans	Adulte	N. A	N. A	N. A	40 ans
KULT9/10	N. A	N. A	20-29 ans	50-59 ans	N. A	+ 50 ans
Azande 35	35-40	Adulte	N. A	50 ans	45 ans	45-50
Azande 39	35-40	Adulte	20-29	45-49 ans	39-44 ans	45 ans
Pygmée 207	Absent	Absence Alvéoles /mince	+ de 30 ans	35-39 ans	45-50 ans	+ 40 ans
Pygmée 208	40-50 ans	Absent	+ de 30 ans	40-44 ans	35-39 ans	40 ans
Pygmée 212	N. A	Absence Alvéoles /mince	+ de 30 ans	50-59ans	45-49 ans	50 ans
Pygmée 213	N. A	Absence Alvéoles/mince	+ de 30 ans	40-44/45-49	30-35 ans	40 ans

Tableau A2.6 DSP2. Diagnose sexuelle probabiliste. Mesure de l'os coxal pour déterminer le sexe (Bruzek et al. 2017)

Mesure os Coxal	Minimum	Maximum	Auteur et Date
1.PUM longueur du pubis	56.00	87.00	Bräuer, 1988
2.SPU largeur pubo-acétabulaire	17.00	38.50	Gaillard, 1960
3. DCOX hauteur maximale de l'os coxal	170.00	253.00	Bräuer, 1988
4.IIMT hauteur de la grande incisure ischiatique	23.00	63.00	Bräuer, 1988
5.ISMM Longueur post-acétabulaire de l'ischium	86.90	131.50	Schulter-Ellis et al. 1983
6.SCOX largeur de l'ilium	123.00	187.00	Braëur, 1988
7.SS longueur spino-sciatique	52.50	91.00	Gaillard, 1960
8.SA longueur spino auriculaire	53.50	94.70	Gaillard, 1960
9.SIS largeur cotylo-sciatique	26.50	52.00	Bräuer, 1988
10.VEAC Diamètre vertical de l'acétabulum	42.00	66.50	Brüer, 1988

DSP2. « Calcule la probabilité à partir de 4 variables, **mais plus le nombre de variables est importante, plus la probabilité sera significative supérieur ou égale à 0,95.** Les 8 premières variables sont classées de la plus à la moins discriminante. Les deux dernières SIS et VEAC sont utilisés si le nombre minimum de 4 n'est pas atteint en contexte archéologique. »

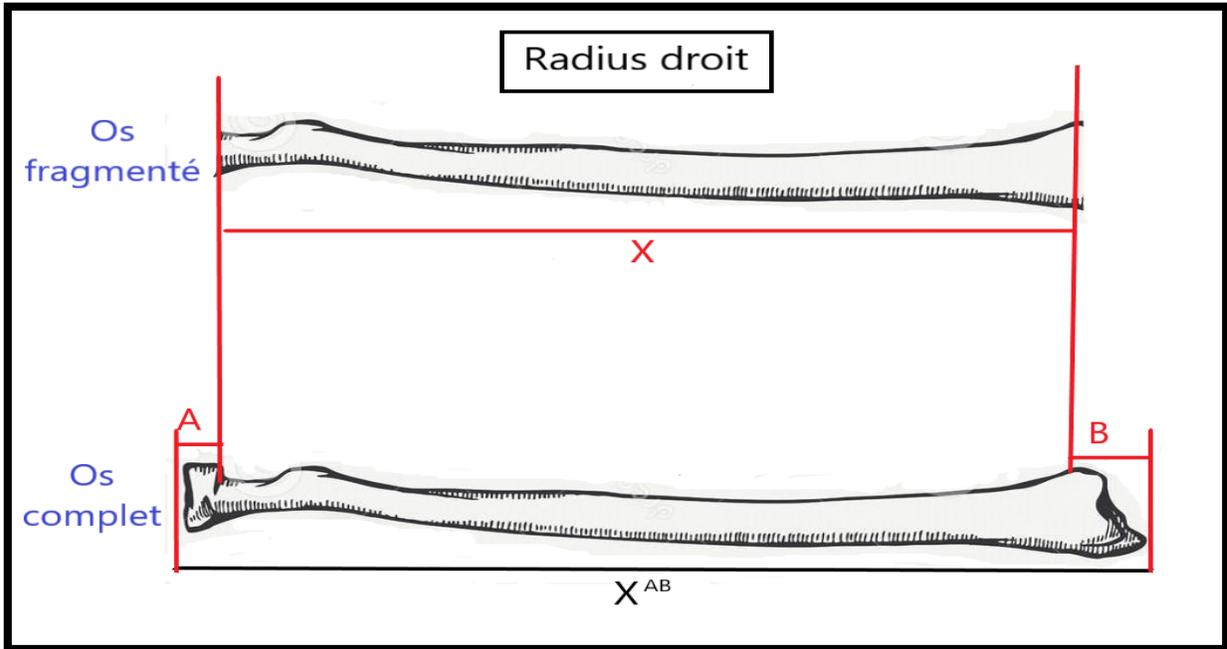


Figure A2.1 Estimation de la longueur du radius droit à l'étude (vue antérieure). Image modifiée de dreamstime 2021

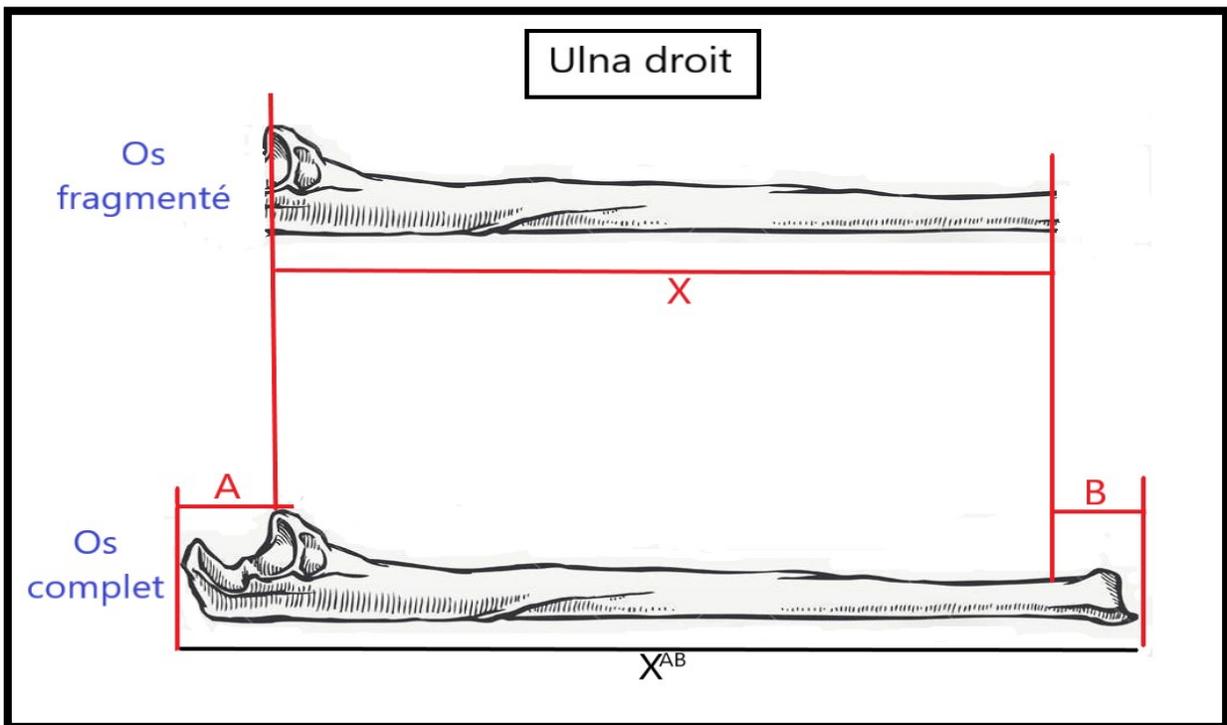


Figure A2.2 Estimation de la longueur de l'ulna à l'étude (vue médiale). Image modifiée de dreamstime 2021

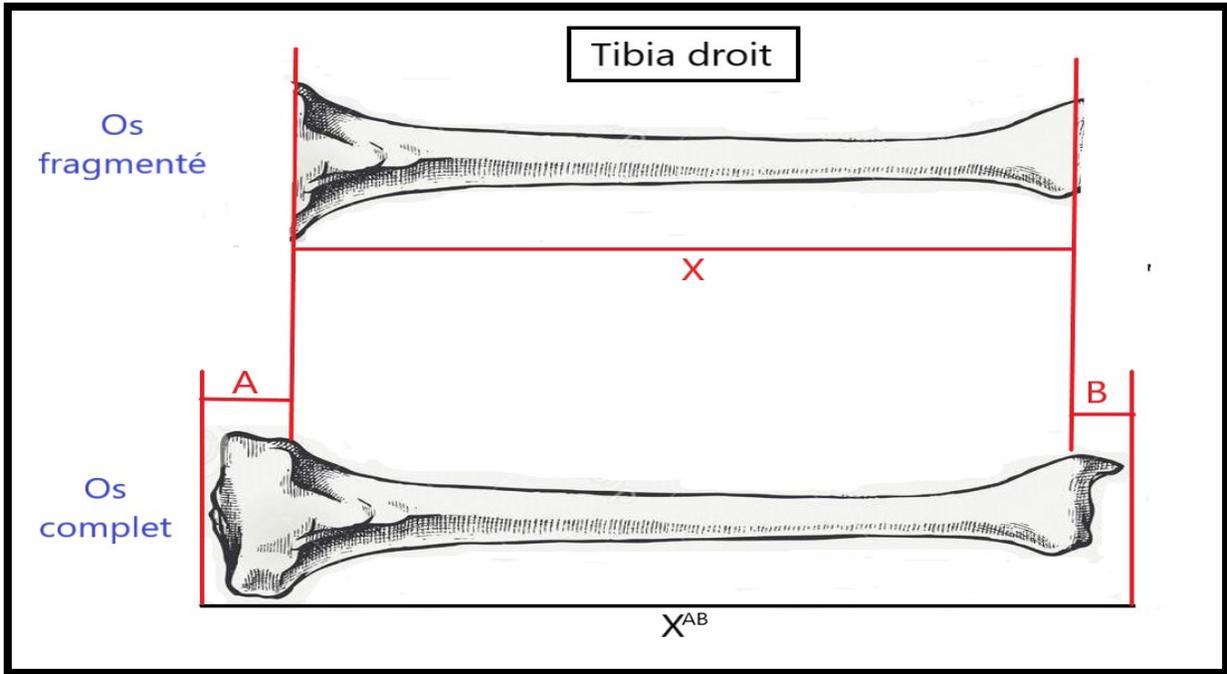


Figure A2.3 Estimation de la longueur du tibia droit à l'étude (vue antérieure). Image modifiée de dreamstime 2021

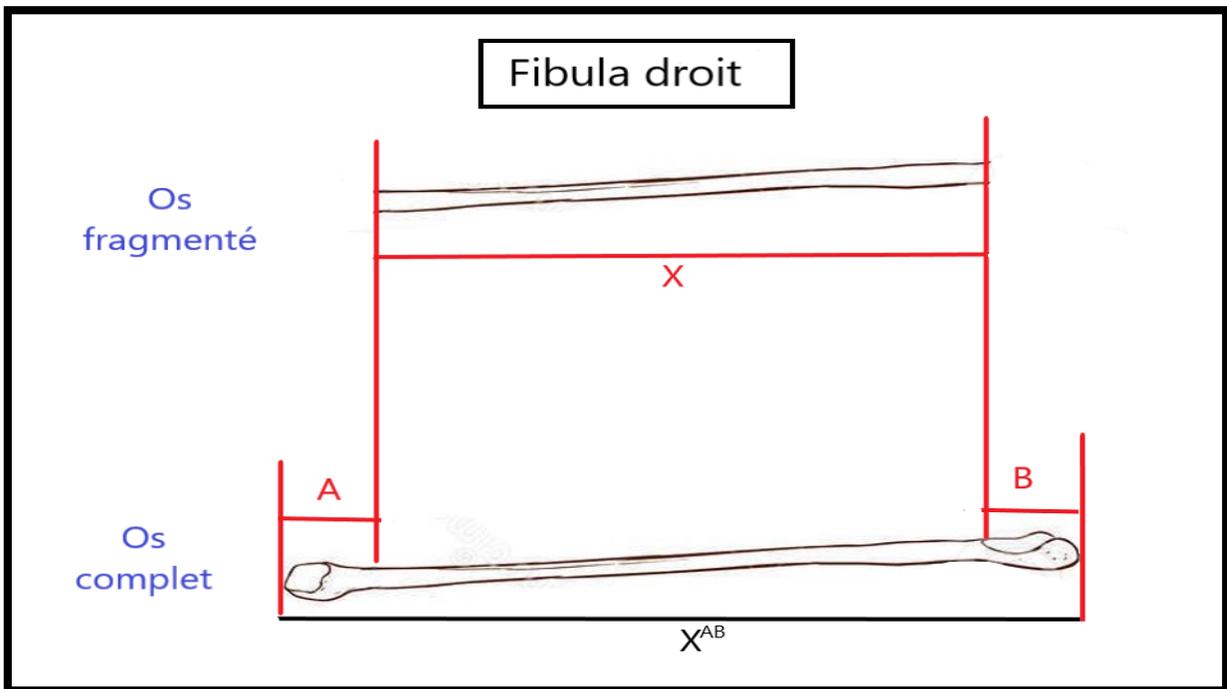


Figure A2.4 Estimation de la longueur du fibula droit à l'étude (vue antéro-médiale). Image modifiée de dreamstime 2021

Annexe 3. Résultats

Tableau A3.1 Nombre d'individus par stratégies de subsistances et de l'environnement selon le sexe et les catégories d'âge.

Catégories	Chasseurs-cueilleurs	Agriculteurs	Forêt	Montagne	Chasseurs-cueilleurs plaine
Non sexué	N=2	N=3	N=0	N=1	N=1
Femme	N=4	N=15	N=2	N=2	N=0
Homme	N=3	N=10	N=2	N=0	N=1
Adulte	N=3	N=11	N=0	N=1	N=2
Avant 50 ans	N=5	N=19	N=3	N=2	N=0
≥ 50 ans	N=1	N=6	N=1	N=0	

Tableau A3.2 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les humérus gauches et droits selon la stratégie de subsistance (standardisés par la longueur)

Os	Humérus gauche					Humérus droit				
	20	35	50	65	80	20	35	50	65	80
Stratégie de subsistance	C-C, n=7 A, n=14 N=21	C-C, n=8 A, n=15 N=23	C-C, n=8 A, n=16 N=24	C-C, n=8 A, n=15 N=23	C-C, n=6 A, n=10 N=16	C-C, n=7 A, n=12 N=19	C-C, n=7 A, n=13 N=20	C-C, n=7 A, n=14 N=21	C-C, n=7 A, n=14 N=21	C-C, n=7 A, n=14 N=21

C-C : Chasseurs-cueilleurs et A : Agriculteurs

Tableau A3.3 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les radius gauches et droits selon les facteurs à l'étude (standardisés par la longueur)

Os	Radius gauche					Radius droit					
	20	35	50	65	80	20	35	50	65	80	
Stratégie de subsistance	C-C, n=7 A, n=15 N=22		C-C, n=6 A, n=14 N=20		C-C, n=9 A, n=6 N=15	C-C, n=9 A, n=8 N=17	C-C, n=8 A, n=5 N=13	C-C, n=8 A, n=6 N=14	C-C, n=8 A, n=6 N=14	C-C, n=8 A, n=6 N=14	
Environnement	Pas disponible					C-C forêt, n=4 C-C montagne, n=3 N=7	C-C montagne, n=3 C-C forêt, n=4 N=7	Pas disponible			

C-C : Chasseurs-cueilleurs et A : Agriculteurs

Tableau A3.4 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les ulna gauches et droits selon les facteurs à l'étude (standardisés par la longueur)

Os	Ulna gauche					Ulna droit				
	20	35	50	65	80	20	35	50	65	80
Stratégie de subsistance	C-C, n=9 A, n=14 N=23	C-C, n=7 A, n=12 N=19	C-C, n=7 A, n=11 N=18	C-C, n=8 A, n=8 N=16	C-C, n=7 A, n=8 N=15	C-C, n=7 A, n=6 N=13	C-C, n=6 A, n=5 N=11			
Environnement	C-C montagne, n=3 C-C forêt, n=4 N=7	Pas disponible			C-C forêt, n=4 C-C montagne, n=3 N=7	Pas disponible				

C-C : Chasseurs-cueilleurs et A : Agriculteurs

Tableau A3.5 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les fémurs droits et gauches selon la stratégie de subsistance (standardisés par la longueur et la masse¹)

Os	Fémurs gauche		Fémurs droit				
	20	35 à 80%	20	35	50	65	80
Stratégie de subsistance	C-C, n=6/4 ¹ A, n=15/11 ¹ N=21/15 ¹	C-C, n=7/4 ¹ A, n=14/11 ¹ N=21/15 ¹	C-C, n=6/4 ¹ A, n=15/12 ¹ N=21/16 ¹	C-C, n=7/4 ¹ A, n=17/13 ¹ N=24/17 ¹	C-C, n=7/4 ¹ A, n=16/12 ¹ N=23/16 ¹	C-C, n=7/4 ¹ A, n=15/13 ¹ N=22/17 ¹	C-C, n=6/4 ¹ A, n=16/13 ¹ N=22/17 ¹

C-C : Chasseurs-cueilleurs et A : Agriculteurs

Tableau A3.6 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les tibias droits et gauches selon la stratégie de subsistance (standardisés par la longueur et la masse¹)

Os	Tibias gauche				Tibias droit					
	20	35	50 et 65%	80%	20	35	50	65	80	
Stratégie de subsistance	C-C, n=4/4 ¹ A, n=6/4 ¹ N=10/8 ¹	C-C, n=4/4 ¹ A, n=7/5 ¹ N=11/9 ¹	C-C, n=4/4 ¹ A, n=8/6 ¹ N=12/10 ¹	C-C, n=4/4 ¹ A, n=6/4 ¹ N=10/8 ¹	C-C, n=5/4 ¹ A, n=8/7 ¹ N=13/11 ¹	C-C, n=5/3 ¹ A, n=8/7 ¹ N=12/10 ¹	C-C, n=5/3 ¹ A, n=7/6 ¹ N=11/9 ¹			

C-C : Chasseurs-cueilleurs et A : Agriculteurs

Tableau A3.7 Nombre d'individus étudiés par sections (%) pour les fibulas droites et gauches selon les facteurs à l'étude (standardisées par la longueur et la masse¹)

Os	Fibula gauche		Fibula droit				
Section (%)	20 à 50%	65 et 80%	20	35	50	65	80
Stratégie de subsistance	C-C, n=6 A, n=5 N=11	C-C, n=6 A, n=4 N=10	C-C, n=7/4 ¹ A, n=4/3 ¹ N=11/10 ¹	C-C, n=6/4 ¹ A, n=4/3 ¹ N=10/7 ¹	C-C, n=7/4 ¹ A, n=4/3 ¹ N=11/7 ¹	C-C, n=6/4 ¹ A, n=4/3 ¹ N=10/7 ¹	C-C, n=8 A, n=3 N=11
Environnement	Pas disponible		Pas disponible		Forêt, n=4 Montagne, n=3 N=7	Pas disponible	Forêt, n=4 Montagne, n=3 N=7

C-C : Chasseurs-cueilleurs et A : Agriculteurs

Tableau A3.8 Les valeurs de p du test de Mann-Whitney standardisées par la longueur des fémurs de la stratégie de subsistance (la valeur significative est en gras).

Latéralité	Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
Gauche	20	0,791	0,154	0,269	0,516	0,425
	35	0,637	0,401	0,360	0,323	0,230
	50	0,401	0,401	0,487	0,532	0,532
	65	0,401	0,360	0,323	0,202	0,637
	80	0,290	0,532	0,637	0,637	0,915
Droit	20	0,971	0,673	0,909	0,673	0,127
	35	0,586	0,547	0,366	0,547	0,024
	50	0,447	0,377	0,308	0,455	0,972
	65	0,582	0,535	0,368	0,162	0,580
	80	1	0,327	0,589	0,446	0,804

I_{max}/I_{min} est un ratio donc la valeur est similaire qu'importe la standardisation

Tableau A3.9 Les valeurs de p du test Mann-Whitney standardisées par la masse corporelle des tibias de la stratégie de subsistance (la valeur significative est en gras).

Latéralité	Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
Gauche	20	0,205	0,500	0,692	0,479	0,252
	35	0,190	0,555	0,904	1	0,168
	50	0,164	0,473	0,915	0,758	0,287
	65	0,164	0,473	0,758	0,607	0,928
	80	0,500	1	0,692	0,890	0,113
Droit	20	0,074	0,526	0,926	0,788	0,942
	35	0,234	0,926	0,788	0,788	0,028
	50	0,180	0,518	0,836	0,667	0,364
	65	0,264	0,667	0,518	0,518	0,804
	80	0,260	0,713	0,378	0,543	0,926

Tableau A3.10 Les valeurs de p du test Mann-Whitney des fibulas droites standardisées par la masse corporelle selon la stratégie de subsistance (les valeurs presque significatives ont un astérisque).

Section (%)	CSA	I _{min}	I _{max}	J	I _{max} /I _{min}
20	0,226	0,401	0,401	0,401	0,157
35	0,226	0,634	0,226	0,401	0,609
50	0,226	0,226	0,634	0,634	0,646
65	0,059*	0,054*	0,401	0,113	0,254

Annexe 4. Discussion

Tableau A4.1 Moyennes et p-value des propriétés osseuses des populations humaines

Auteur	Population (Période), N	Os (Section %)	Moyenne		P-value
			Femme	Homme	
Ledger et al. 2000	Afrique du Sud, Echantillon moderne (1983-1995) N=31	<u>Mi- diaphyse</u>			Pas disponible
		Humérus			
		CA	440	573	
		J	461	592	
		I _{max} /I _{min}	1,7	1,5	
		Tibia			
	CA	473	512		
	J	522	524		
	I _{max} /I _{min}	2,0	2,2		
(Esclaves/ affranchis) Cimetière de Cobern Street, Afrique du Sud (18 ^e siècle) N=29	Humérus	Femme	Homme		
	CA	495	629		
	J	449	647		
	I _{max} /I _{min}	1,6	1,6		
	Tibia				
	CA	494	535		
J	532	559			
I _{max} /I _{min}	2,3	2,5			
Chasseur-cueilleurs Khoisan, LSA (<i>Later Stone Age</i>) N=30	Humérus	Femme	Homme		
	CA	500	616		
	J	375	478		
	I _{max} /I _{min}	1,6	1,5		
	Tibia				
	CA	517	641		
J	472	637			
I _{max} /I _{min}	2,4	2,7			

Stock et Pfeiffer 2001	Région du Cap, Afrique du Sud LSA : 10 000 à 2000 BP N=65	<u>Mi-diaphyse</u> *Humérus CA Imin Imax J Imax/Imin *Fémur CA Imin Imax J Imax/Imin Tibia (cnemic foramen) proximal CA Imin Imax J Imax/Imin	62,21 17,34 26,81 44,15 1, 563 164,17 5 630,76 8 860,28 14 491,05 1,573 164, 42 5 570,76 14 605,38 20 176,14 2, 662	0,000 0,000 0,000 0,000 0,098 0,000 0,000 0,000 0,000 0,000 0,592 0, 000 0,000 0,000 0,365
	Ile Andaman (AI), Bai du Bengal, entre Burma et Sumatra 19 ^e siècle N=39	<u>Mi-diaphyse</u> *Humérus CA Imin Imax J Imax/Imin *Fémur CA Imin Imax Imax/Imin J Tibia CA Imin Imax Imax/Imin J	75,94 24,90 40,16 65,06 1,656 155,35 4 504, 28 5 859,09 10 363, 38 1, 299 161, 17 3 940,43 9 871,39 13 881, 82 2, 546	

Stock et Pfeiffer 2004	N=65 Forêt, Afrique du Sud LSA (8000-2000BP)	Mi-distal (35%) Humérus	Femme	Homme	
		<i>Droit</i>			
		CA	254,5	313,8	
		J	294,8	389,8	
		<i>Gauche</i>			
		CA	249,8	294,3	
		J	279,3	352,7	
		Mi-diaphyse			
		Ulna			
		<i>Droit</i>			
		CA	139,6	169,3	
		J	137,1	177	
		<i>Gauche</i>			
		CA	136,4	152,5	
		J	133,6	154,9	
		Fémur			
		CA	644,8	701,7	
		J	847,8	956,1	
		Imax/Imin	1,54	1,70	
		Tibia			
		CA	544,4	956,1	
		J	812,1	1056,2	
		Imax/Imin	2,36	2,65	
	Fynbos , le long de la côte, à l'est de l'Afrique du Sud LSA	Mi-distal (35%) Humérus	Femme	homme	
		<i>Droit</i>			
		CA	281,6	315,3	
		J	324,9	405,9	
		<i>Gauche</i>			
		CA	272,1	269,1	
		J	312,1	333,6	
		Mi-diaphyse			
		Ulna			
		<i>Droit</i>			
		CA	144,4	172,8	

		J	151,4	185,6	
		<i>Gauche</i>			
		CA	141,9	157,8	
		J	145,3	163,5	
		Fémur			
		CA	626,9	699,3	
		J	776,5	961,7	
		Imax/Imin	1,34	1,76	
		Tibia			
		CA	507,8	630,4	
		J	732,8	991,9	
		Imax/Imin	2,29	2,71	
Stock 2006	4 peuples Chasseurs-cueilleurs. Afrique du sud LSA (10 900-2000BP) N=84	<u>Mi-distal (35%)</u>	P ≤ 0,005		
		Humérus			
		<i>Droit</i>			
		J	0,001		
		<i>Gauche</i>			
		J	0,001		
	Ile Andaman, sud-est Asie 1860-1900 N=32	<u>Mi-diaphyse</u>			
		Ulna			
		<i>Droit</i>			
		J	0,001		
		<i>Gauche</i>			
		J	0,001		
	Yaghan, Tierra del fuego (Terre de Feu) en Argentine 1880 N=34	Fémur			
		J	0,007		
	Les grands lacs, Amérique du Nord (2475-2950 BP) fin Archaique N=15	Tibia			
		J	0,009		
		Fémur			
		Subtronchante ur (section proximale)			
		J	n.s (non significatif)		

Boucher 2012	Khoisan Afrique du Sud (K), LSA (9100-2000 BP) N=25	<u>Mi-diaphyse</u> (50%) Humérus CA J Fémur CA J Tibia CA J	208,12 8723,91 415,19 46115,56 311,34 26666,62	0,45 (S > K) 0,03 (S > K) 0,84 (K > S) 0,74 (S > K) 0,77 (K > S) 0,77 (S > K)
	Inuit Saldermuit (S), île de Southampton, Baie d'Hudson 20e siècle N=30	<u>Mi-diaphyse</u> (50%) Humérus CA J Fémur CA J Tibia CA J	187,47 14353,14 420,35 57472,30 311,62 30145,33	
Shaw et Stock 2013	Afrique du Sud LSA, Chasseurs- cueilleurs N=16	<u>Mi-diaphyse</u> (50%) Humérus J Tibia J	6736 30 685	Pas disponible
	Andaman (19e), Chasseurs- cueilleurs N=15	<u>Mi-diaphyse</u> (50%) Humérus J Tibia J	7342 17 326	
	Coureurs anglais, N=15	<u>Mi-diaphyse</u> (50%) Humérus J	18 642	

		Tibia J	51 427		
	Non-sportifs (contrôle) N=20	<u>Mi-diaphyse</u> (50%) Humérus J	14 849		
		Tibia J	39 091		
	Nageurs anglais N=15	<u>Mi-diaphyse</u> (50%) Humérus J	22658		
		Tibia J	41771		
Cameron et Pfeiffer 2014	Afrique du Sud, LSA : Chasseurs-cueilleurs Cote (fynbos) N=23	<u>Mi distal</u> (35%) Humérus <i>Droit</i> J Imax/Imin <i>Gauche</i> J Imax/Imin <u>Mi diaphyse</u> (50%) Fémur J Imax/Imin	Femme 481,7 1,38 422,4 1,35 147,9 1,55	Homme 588,4 1,20 521,4 1,26 176 1,77	Pas disponible
	Chasseurs-cueilleurs en forêt N=17	<u>Mi distal</u> (35%) Humérus <i>Droit</i> J Imax/Imin <i>Gauche</i> J	femme 353,8 1,29 373,8	homme 479,8 1,20 408,4	

		Imax/Imin 1,26 1,18 <u>Mi diaphyse</u> (50%) Fémur J Imax/Imin 163,8 1,58 181 1,76				
	Chasseurs- cueilleurs, Basse vallée « Orange river » à l'intérieure des terres N=5	<u>Mi distal</u> (35%) Humérus <i>Droit</i> J Imax/Imin 494,8 1,34 600,1 1,26 <i>Gauche</i> J Imax/Imin 443,4 1,27 544,3 1,20 <u>Mi diaphyse</u> (50%) Fémur J Imax/Imin 139,5 1,42 167,5 1,51	femme	homme		
Crevecoeur et al. 2016	Ishango	<u>Mi-diaphyse</u> (50%)			Pas disponible	
	1.#Ish 33 /#Ish31	1.Tibia J/Humérus J	2.06			
	2. Nageurs anglais	2.TibiaJ/Hum érus J	1,84			
	3.Andamanais	3. TibiaJ /Humérus J	2,36			
Cameron et Stock 2018	Afrique du Sud, LSA	Mi-distal (35%) Humérus <i>Droit</i> J Imax/Imin 124,9 1,33 174 1,21 <i>Gauche</i>	Femme	Homme	femme	homme
	1. Cote méditerranéenne, région du Cap				0,058 0,403	0,221 0,170

	N=85	J Imax/Imin	118,6 1,30	143,2 1,22	0,029 ^{2>3} 0,596	0,053 0,026
		<u>Mi-diaphyse</u> (50%) Fémur				
		J Imax/Imin	361,6 1,52	429,3 1,72	0,058 0,403	0,102 0,00105 ^{1>2}
	Tibia					
	J Imax/Imin	366 2,26	481,3 2,66	0,405 0,090	0,472 0,007 ^{1>2}	
	2. Désert Namib N=17	Mi-distal (35%)	Femme	Homme		
		Humérus <i>Droit</i>				
		J Imax/Imin	159,2 1,29	195,9 1,18		
		<i>Gauche</i>				
		J Imax/Imin	160 1,37	180,6 1,27		
Mi-diaphyse Fémur						
J Imax/Imin	356,7 1,27	375,2 1,44				
Tibia						
J Imax/Imin	374,9 2,04	426,9 2,16				
3. Intérieur e Centrale N=53	Mi-distal (35%) Humérus	Femme	Homme			
	<i>Droit</i>					
	J Imax/Imin	148,2 1,27	185,5 1,23			
	<i>Gauche</i>					
J Imax/Imin	136,4 1,22	165,6 1,15				

		Mi-diaphyse				
		Fémur				
		J	330,4	398,1		
		Imax/Imin	1,30	1,48		
		Tibia				
		J	345,4	477,8		
		Imax/Imin	2,07	2,41		